

79103

COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE  
DU CHARBON ET DE L'ACIER

HAUTE AUTORITÉ

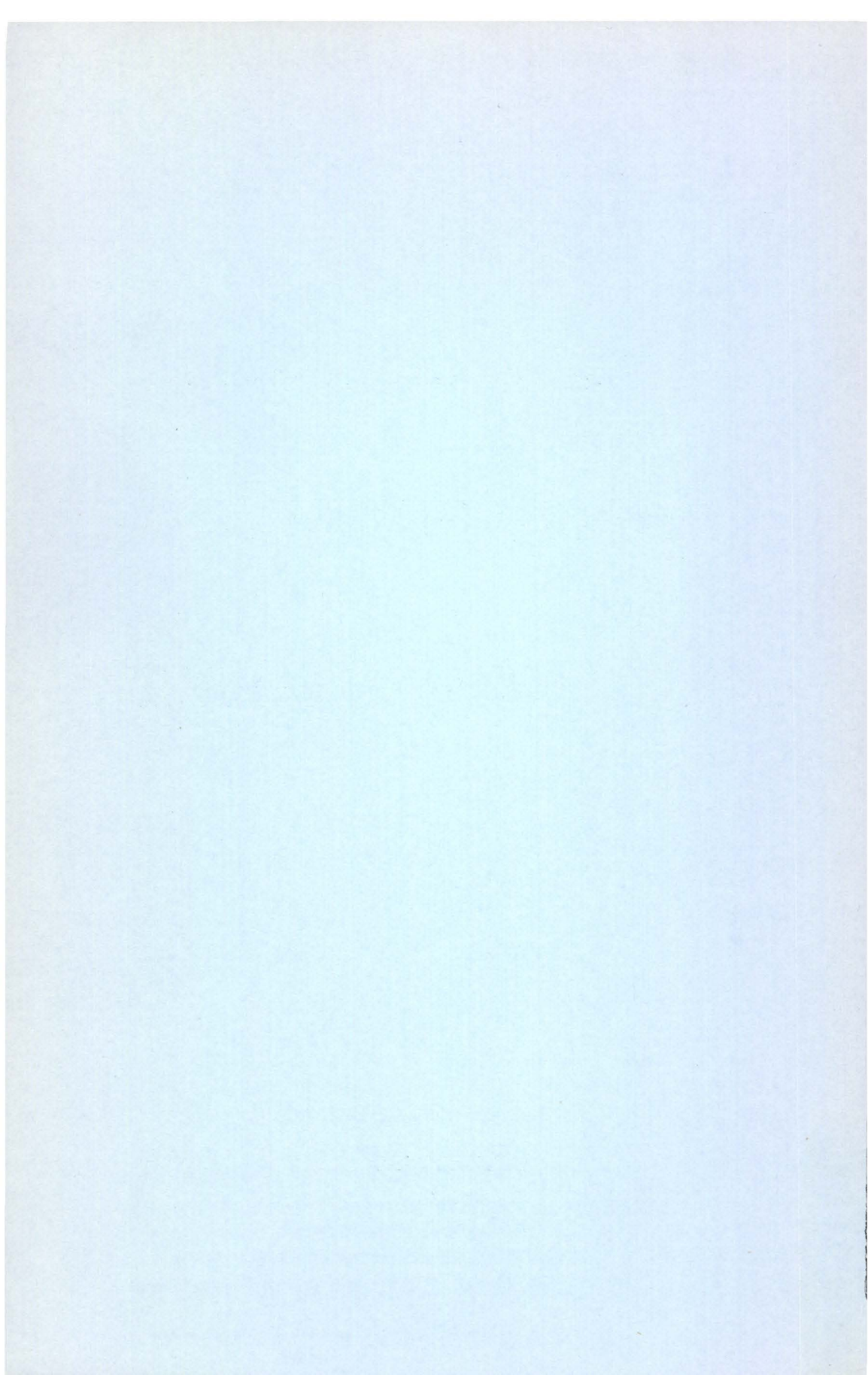
Collection d'hygiène et de médecine du travail — N° 7

EFFETS DU BRUIT  
ET  
LUTTE CONTRE LE BRUIT

LIBRARY

LUXEMBOURG

1967







1 456.723 + 628.517

COMMUNAUTÉ EUROPÉENNE  
DU CHARBON ET DE L'ACIER

HAUTE AUTORITÉ

Collection d'hygiène et de médecine du travail — N° 7

**EFFETS DU BRUIT**  
**ET**  
**LUTTE CONTRE LE BRUIT**

LUXEMBOURG

1967

O. 2. 2

CECA : 764



## TABLE DES MATIÈRES

Préface .....	7
Introduction .....	9
Analyse des travaux de recherche encouragés par la C.E.C.A. ....	11
1. Recherches concernant le problème de la compréhension de la parole dans les entreprises industrielles .....	11
1.1. Rapports entre effets d'assourdissement et bruits discontinus ...	11
1.2. Signification des « zones de fréquences » pour la compréhension de la parole .....	14
1.3. Signification de la capacité acoustique de la voix humaine ...	15
2. Hypoacousie, conséquence de la profession .....	17
2.1. Rapport entre le seuil d'assourdissement et l'hypoacousie future	17
2.2. Influence des stimuli extra-sensoriels sur la fatigue auditive ...	20
2.3. Capacité de rendement et bruit .....	23
3. Effets somatiques du bruit .....	24
3.1. Examen du métabolisme dans les excitations acoustiques .....	24
3.2. Influence des excitations acoustiques continues et intermittentes sur le système cardio-vasculaire .....	25
3.3. Action des bruits typiques dans l'industrie sidérurgique sur les fonctions circulatoires .....	26
3.4. Signification du contenu d'information d'une excitation acoustique donnée pour le déclenchement des réactions du stress .....	31
3.5. Réactions secondaires du système végétatif provoquées par les bruits industriels .....	32
3.6. Signification des ultra-sons .....	34
4. Examens psychologiques et socio-psychologiques sous l'incidence du bruit .....	36
4.1. Altérations des fonctions visuelles sous les effets du bruit et leur importance quant à l'aptitude au travail et à la prévention des accidents .....	36
4.2. Les effets des bruits industriels sur l'attention .....	37

4.3. Changement de poste de travail pour états audiométriques ou autres états cliniques.....	38
4.4. Importance des contacts sociaux et des examens psychologiques portant sur des groupes de travailleurs exposés au bruit.....	40
5. Effets physio-pathologiques des vibrations sur l'homme .....	43
5.1. Études d'électro-encéphalographie dans les effets de vibrations .	46
5.2. Études radiologiques et cliniques concernant la contrainte vibratoire de l'homme .....	47
5.3. Facteurs constitutionnels dans la genèse des maladies causées par les vibrations .....	50
5.4. La prévention médicale des affections causées par les vibrations	52
Résumé .....	57
Bibliographie .....	65



## PRÉFACE

Dans le monde moderne, où la mécanisation se développe à une cadence accélérée, les techniques de production bénéficient de progrès considérables.

Les mines et la sidérurgie ne restent évidemment pas à l'écart de ce mouvement : leurs méthodes de travail évoluent, elles aussi, avec la mécanisation.

Le progrès technologique aboutit à une production accrue pour une durée de travail égale et aussi, la plupart du temps, à un allègement de la charge physique du travail. Cependant, il provoque souvent un effort intellectuel plus intense, une plus grande fatigue nerveuse et différentes perturbations péniblement ressenties.

Le bruit est l'une de ces perturbations.

Certes, il arrive que le progrès technique supprime ou atténue le bruit ; mais il existe également des situations où, en dépit du développement des techniques, le bruit demeure constant et d'autres où, à cause de ce développement, il devient encore plus important.

Or, le bruit n'est pas seulement à l'origine de plusieurs affections spécifiques. Il crée en outre un inconfort certain, lorsqu'il dépasse un niveau déterminé. Enfin, il peut entraîner des risques d'accidents.

Un premier programme de recherches encouragées par la Haute Autorité a déjà permis d'obtenir des résultats intéressants, qui se trouvent consignés dans la publication intitulée « Études de physiologie et de pathologie du travail ».

Ce second ouvrage rend compte des acquisitions du deuxième programme de recherches dans le domaine du bruit.

La valeur de ces acquisitions — à laquelle je tiens à rendre personnellement hommage — me conduit à penser que le lecteur tirera profit du présent livre pour orienter la prévention dans les entreprises.

J'espère que ce livre obtiendra tout le succès qu'il mérite.

Dans l'introduction, M. le professeur Lehmann met nettement en lumière le problème qui se pose et les idées générales qui se dégagent des travaux effectués. Il a aussi brillamment réalisé, en collaboration avec M. le docteur Jansen, la synthèse de ces travaux.

J'adresse mes plus chaleureuses félicitations au professeur Lehmann et au docteur Jansen.

Jean FOHRMANN  
Membre de la Haute Autorité

## INTRODUCTION

Le nombre des études qui, suggérées et encouragées par la Communauté européenne du charbon et de l'acier, furent poursuivies au cours des années considérées (1960-1963), a été supérieur au nombre d'études effectuées pendant la période antérieure. On peut y voir la preuve d'une prise de conscience générale, de plus en plus répandue, de l'importance des effets du bruit sur l'homme au travail et, par conséquent, de la nécessité de les réduire.

Dans le domaine des industries minières et sidérurgiques, l'atténuation du bruit doit être réalisée en premier lieu grâce à des moyens techniques ; c'est une tâche de l'ingénieur. Le critère, cependant, selon lequel doit s'orienter la lutte contre le bruit, est l'influence de celui-ci sur l'homme.

L'étude des effets somatiques et psychologiques du bruit sur l'homme indique la voie des mesures techniques à prendre, et surtout celle des mesures de protection particulières ainsi que des lois, décrets et recommandations qui doivent être élaborés par les services compétents.

C'est pourquoi, en matière de bruit et de lutte contre le bruit, une coopération étroite s'avère nécessaire entre personnes de formations différentes. La lutte contre le bruit ne peut être menée que dans un cadre multidisciplinaire.

Conformément à la tâche du comité de recherche de la Haute Autorité, chargé de déployer son activité dans les domaines de la médecine et de l'hygiène du travail, les recherches consacrées à la lutte contre les effets du bruit sur l'homme, d'une part, et à la protection spécifique de l'homme contre ces mêmes effets, d'autre part, sont au premier plan des travaux effectués.

Afin de pouvoir néanmoins répondre aux nécessités esquissées ci-dessus, on a réuni dans le cadre du groupe de travail « bruit », outre les chercheurs participant à des recherches biologiques et médicales, des techniciens et praticiens connaissant les conditions et les nécessités de l'entreprise. Dans ce cadre, des discussions ont été consacrées à des thèmes choisis de la lutte contre le bruit, discussions particulièrement fructueuses du fait qu'elles ont permis d'exploiter les expériences réalisées par chaque pays de la Communauté européenne. Par là, on est également parvenu à ne jamais perdre de

vue les objectifs pratiques de la lutte contre le bruit, même dans le cas des études plutôt orientées vers la théorie et revêtant l'importance d'une recherche fondamentale.

Il est vrai que la lutte contre le bruit, dans l'industrie sidérurgique et minière, possède son propre poids spécifique et pose des problèmes particuliers, qu'on ne peut résoudre que si l'on part des caractéristiques propres à ces industries. Afin d'éviter les doubles emplois et les dispositions pratiques contradictoires, il n'en paraissait pas moins important de maintenir le contact avec la lutte contre le bruit dans d'autres domaines sur le plan à la fois scientifique et pratique. Les discussions organisées au sein des groupes de travail en fournissaient largement l'occasion. Les chercheurs ont ainsi eu l'avantage de bénéficier des suggestions obtenues grâce à ces contacts variés, de surmonter certaines difficultés en confrontant leurs idées, et d'éviter d'inutiles pertes de temps et d'énergie.

Les travaux de recherche, et les thèmes ayant fait l'objet d'une discussion globale au sein du groupe de travail, englobaient les domaines suivants : la communication, c'est-à-dire la réception d'informations sous les effets du bruit et, simultanément, l'importance pour ces facteurs des mesures prises pour lutter contre le bruit. Une importance particulière a été attachée à la genèse de la surdité consécutive au bruit ainsi qu'aux mesures susceptibles de l'éviter, cette affection ayant notamment été étudiée quant à ses effets sur la capacité productive de l'homme au travail.

Un autre domaine de recherche était constitué par les autres effets somatiques du bruit sur l'homme, c'est-à-dire en particulier par les réactions du système végétatif, qui se manifestent non seulement en cas de bruits d'une intensité extrême, mais aussi lorsque leur intensité est moyenne ; ces influences revêtent donc une importance considérable quant au problème du repos et de la convalescence, ainsi que des effets du bruit qui les compromettent. D'autre part, certaines recherches ont été effectuées dans les domaines psychologique et socio-psychologique où il fallait tenir compte des différents degrés d'intensité du bruit. Enfin, ces recherches englobaient également les effets des oscillations mécaniques à basse fréquence sur l'homme.

## **ANALYSE DES TRAVAUX DE RECHERCHE ENCOURAGÉS PAR LA C.E.C.A.**

La Communauté européenne du charbon et de l'acier a encouragé, de 1960 à 1963 y compris, une série de projets de recherches qui avaient pour but d'augmenter la sécurité du travail dans les entreprises bruyantes et d'empêcher l'hypoacousie causée par la profession.

Il s'agissait d'étudier des résultats scientifiquement fondés concernant le problème de la compréhension de la parole dans les entreprises industrielles pour pouvoir juger si des accidents surviennent en raison de la non-compréhension des signaux avertisseurs et comment ils peuvent être évités. La question de l'hypoacousie causée par la profession a déjà donné souvent matière à des examens approfondis. Ceux qui furent encouragés par la C.E.C.A. tendaient à reconnaître dès que possible un début d'hypoacousie et à pouvoir prendre des mesures pour l'empêcher.

A côté de ces deux thèmes d'investigation, furent soutenus des projets de recherches ayant pour sujet les effets somatiques extra-auriculaires du bruit. Un autre point capital fut le domaine psychologique et socio-psychologique. Ces examens approfondis furent encouragés essentiellement sous l'aspect du rendement dans les entreprises industrielles.

En outre furent soutenues d'autres recherches concernant les incidences physiopathologiques des vibrations sur l'homme au travail.

Le présent rapport général tente de présenter les examens approfondis encouragés par la C.E.C.A. dans leur signification scientifique et pratique. Il ne repose pas seulement sur les rapports écrits de synthèse des chercheurs ou sur leurs publications, mais aussi sur les discussions qui eurent lieu lors des congrès de chercheurs dans le domaine des recherches sur le bruit et la lutte contre le bruit, à Luxembourg.

### **1. Recherches concernant le problème de la compréhension de la parole dans les entreprises industrielles**

#### **1.1. Rapports entre effets d'assourdissement et bruits discontinus**

Dans les entreprises bruyantes, la question de la protection du travail et celle de son organisation est d'une importance particulière. Il est fréquent que

la compréhension soit rendue tellement difficile par l'intensité des bruits qu'on en arrive à des erreurs de compréhension et aux conséquences qui en découlent, accidents ou malfaçons. Cette difficulté de compréhension a une influence néfaste sur la qualité et la quantité de la production. Des travaux de documentation de base concernant ce problème de la compréhension du langage existent dans de nombreuses publications. Signalons les publications de Beranek, Fletcher, Moser et Dreher, Pollack, Rosenblith et autres.

Pour la perception des informations et des signaux, l'ouïe est très importante. Ce ne sont pas seulement les signaux qui ont pour contenu des ordres ou des commandements qui ont leur importance, mais aussi les bruits avertisseurs qui, sans que ce soit intentionnellement, ont un contenu d'information pour le travailleur. De semblables bruits avertisseurs jouent dans le processus du travail un rôle souvent décisif et parfois même vital. Coppée a déjà exprimé les conditions qui doivent être réalisées pour la communication acoustique des informations dans un milieu bruyant : 1. Les signaux sonores doivent être suffisamment forts pour dominer les autres bruits et pouvoir être perçus. 2. Le travailleur doit avoir une ouïe suffisamment fine pour pouvoir également percevoir impeccablement les signaux qui arrivent. 3. L'expérience personnelle ou l'enseignement donné par d'autres ouvriers ou contremaîtres doit être tel qu'il rende possible la parfaite reconnaissance des signaux acoustiques.

Les bruits ambiants sont souvent si forts que la perception d'un certain bruit dans les limites du niveau ambiant est rendue plus difficile. On a cru longtemps pouvoir expliquer l'interférence, c'est-à-dire le masquage du bruit par le fait que les bruits ambiants détournent l'attention. A l'heure actuelle, on incline à voir la cause de ce phénomène dans les particularités de l'oreille.

Dans l'organe de l'ouïe, les excitations acoustiques sont transformées en influx nerveux, elles sont conduites par les centres auditifs du tronc cérébral jusqu'à l'écorce cérébrale et là seulement a lieu la perception consciente. Si des excitations acoustiques de brève durée se succèdent rapidement, elles sont perçues isolément. Cependant, après chaque excitation de la fibre nerveuse suit une phase réfractaire pendant laquelle le cheminement d'un nouvel influx n'est pas possible.

Un bruit ambiant continu a un effet de fatigue prolongée sur les fibres nerveuses et empêche, de cette manière, la propagation d'une nouvelle excitation et, par là, la perception d'un signal avertisseur. Plus le spectre acoustique des bruits ambiants s'assimile au spectre du bruit avertisseur, plus le signal avertisseur est couvert par le bruit ambiant. La fréquence du signal avertisseur devrait donc se différencier fortement du bruit ambiant, de façon que ce bruit avertisseur puisse être mieux distingué du bruit ambiant. Lorsque les spectres acoustiques des bruits avertisseurs et des bruits ambiants sont à peu près les mêmes, la différenciation n'est alors possible que lorsque l'intensité du bruit avertisseur dépasse de plus de 10 décibels le bruit ambiant.

Or, il faut tenir compte, à cet égard, qu'amplifier de 10 décibels un bruit revient à peu près à doubler l'impression subjective de l'intensité du son. D'un autre côté, les bruits avertisseurs ne doivent naturellement pas être si forts qu'ils produisent par leur action sur l'homme une altération de sa faculté auditive. Si, donc, dans une situation donnée, un bruit avertisseur d'à peu près 120 décibels était nécessaire pour être sûrement entendu malgré le bruit parasite, c'est que les signaux avertisseurs ne seraient plus un moyen approprié, et il faudrait alors chercher d'autres moyens pour protéger le travailleur. La sûreté de la transmission des informations peut être considérablement augmentée par l'emploi d'un code défini pour la transmission des informations qui reviennent fréquemment. A une précédente occasion, nous avons déjà rendu compte de l'utilisation d'un tel système codé dans l'industrie minière hollandaise. Des projets semblables existent dans diverses industries, également dans la navigation aérienne et dans d'autres exploitations bruyantes. Rappelons simplement l'alphabet phonétique de l'O.A.C.I. (Organisation de l'aviation civile internationale) et aussi les tableaux de commandement, par exemple ceux de Pechot. Beaucoup de références à de tels procédés de code se trouvent entre autres dans Moser et Dreher.

Il n'est pas possible dans tous les cas de s'entendre sur les procédés de code. C'est pourquoi on a déjà essayé très tôt de garantir la compréhension de la parole dans les exploitations bruyantes et de trouver des mesures d'appréciation pour la perceptibilité du langage. La plus répandue est le SIL (Speech Interference Level). Il se définit comme la moyenne arithmétique des chiffres en décibels dans les octaves 600 — 1.200 Hertz, 1.200 — 2.400 Hertz, 2.400 — 4.800 Hertz. Si la pression acoustique dans l'octave 300 — 600 Hertz est supérieure de plus de 10 décibels à celle de l'octave 600 — 1.200 Hertz, cette valeur est incluse dans les calculs des valeurs moyennes. Pour une bonne compréhension de la parole, l'intensité du langage doit dépasser le SIL de 12 décibels. Si, par contre, la pression acoustique du langage est de 10 décibels au-dessous du niveau des bruits ambiants, la compréhension des syllabes ne se fait plus qu'à 5 %. Cela signifie dans la pratique qu'il n'y a plus de compréhension de la phrase. La compréhension de mots ou de phrases ne se fait pas seulement par l'ouïe, mais aussi, avant tout, d'après le sens, c'est-à-dire que « les manques acoustiques » peuvent être jusqu'à un certain point judicieusement comblés. Ce processus n'intervient pas seulement dans le cas où la disposition intérieure de celui qui est concerné, ou son attention, sont mal dirigées. Si donc un travailleur en est venu à des conflits personnels et qu'il est devant son travail sans rapport avec lui, il peut intervenir par suite d'une faculté de concentration défectueuse ou d'autres gênes, une compréhension défectueuse du signal. Le danger d'accident est, dans ce cas, considérablement accru. On peut ainsi dire que les phénomènes de recouvrement constituent aussi bien un problème psychologique qu'un problème physiologique, auquel on ne fait justice qu'en considérant les deux aspects. Des considérations exclusivement physico-acoustiques ne rendent absolument pas compte du problème dans son ensemble.

La mesure d'appréciation du SIL s'est confirmée dans la pratique en de nombreux endroits. Pourtant il y a une série d'objections de principe contre la validité générale de cette appréciation. La mélodie du langage, son rythme, son harmonie, sa rapidité, les hauteurs du son, participent à l'amélioration ou à la détérioration de la compréhension de la parole, si bien que, dans plus d'un cas, le SIL est insuffisant vis-à-vis des véritables conditions sur le lieu de travail. Indépendamment de ces facteurs humains, la constitution des bruits acquiert encore aussi une signification pour la compréhension de la parole. Le SIL est conçu principalement pour des bruits continus sans interruption, tandis que les bruits discontinus, par les tensions intra-psychiques qu'ils provoquent, détériorent souvent la compréhension de la parole, parfois d'ailleurs l'améliorent aussi.

Mentionnons ici les examens approfondis qui ont été faits jusqu'à maintenant, au C.N.R.S. (Centre national de la recherche scientifique) à Marseille, par Gavini. Là, il fut possible de provoquer, par une succession très rapide de niveaux de bruits variables, certaines sensibilités à la hauteur tonale ; ainsi fut présenté un bruit discontinu, dans lequel les pauses furent maintenues très courtes entre deux pointes de bruit : un son de 8.000 Hertz fut présenté avec une fréquence de 800 par seconde. Il apparut qu'indépendamment de la pression acoustique absolue, la sensibilité à la hauteur tonale se régla à 800 Hertz. Des examens parallèles avec d'autres fréquences et d'autres intervalles de pause montrèrent des résultats correspondants. Sous toutes réserves, bien sûr, on peut tirer de ces examens la conclusion que l'impression de hauteur tonale ne dépend pas seulement de la hauteur absolue du son, mais que, dans des bruits intermittents, le nombre d'interruptions par seconde a une influence pour l'impression de hauteur tonale. Des examens encore plus approfondis dans ce domaine devraient montrer combien l'inertie de l'oreille, les phénomènes de mise en vibration et de cessation de vibration, ont de signification pour la sensibilité à la hauteur tonale. Dans les recherches effectuées jusqu'à présent, on n'a considéré que des sons sinusoïdaux. Il serait cependant très opportun de présenter aussi des bruits de bande étroite ou de bande large comme bruits d'essais, afin de créer ainsi des conditions proches de la pratique.

## **1.2. Signification des zones de fréquences pour la compréhension de la parole**

On sépare difficilement la compréhension du langage de la perception vocale. Comme il a été indiqué dans le chapitre précédent, à côté de la perception vocale, l'intelligence, le don de la combinaison et la compréhension de la situation jouent encore un rôle déterminant dans la compréhension de la parole. Dans la thérapeutique de l'ouïe, il est connu que le champ vocal n'est pas influencé si la courbe de perte auditive du patient passe dans l'audiogramme au-dessus de la ligne de 30 décibels. Conformément à cela, de tels hommes doivent être considérés comme totalement sans entraves dans



leur cadre de vie, et comme pleinement aptes dans l'entreprise. Ils comprennent aussi bien le langage de conversation que les différentes langues de compréhension (par exemple des codes déterminés). Si, au contraire, la perte auditive est de plus de 80 décibels au-dessous de la courbe du seuil d'audibilité, les sons du langage dans la conversation ne sont plus alors normalement distingués. C'est pourquoi, pour pouvoir faire comprendre le langage, on doit s'approcher du patient. A cause de cela, la compréhension de la parole sous-entend tout d'abord une bonne ouïe. Il apparaît ainsi comme nécessaire qu'il y ait au delà de la perception vocale des représentations précises pour pouvoir juger si une compréhension de la parole est encore possible.

A côté du fait que le spectre acoustique moyen de la voix humaine s'étend entre 200 et 3.000 Hertz, il est donc tout d'abord nécessaire d'apprendre à connaître la construction du son vocal. Ici s'insèrent les examens de Koopmans et de ses collaborateurs, qui furent faits sur la demande de la C.E.C.A. Dans les publications présentées par Koopmans, la construction du son vocal, entre autres, fut analysée et des zones de fréquence furent déterminées par filtrage du langage. Dans un examen approfondi, largement conçu, fut ensuite exposée l'influence de l'hypoacousie industrielle sur la perception vocale. Ceux qui ont subi l'examen sont répartis selon leur hypoacousie et selon leurs réactions aux examens de perception vocale en quatre catégories. Cela signifie que les limites données par l'otologie pour l'appréciation de la perception vocale subissent encore une différenciation plus subtile. Les examens de Koopmans ne sont pas seulement importants pour les recherches otologiques de base et le diagnostic du degré d'hypoacousie, mais ils apparaissent encore plus significatifs pour la mise au travail dans les entreprises bruyantes. Leur gros avantage est de pouvoir mieux régler maintenant, sur le plan de l'organisation du travail, grâce aux examens audiométriques, la mise en place des travailleurs en des points déterminés très bruyants.

### 1.3. Signification de la capacité acoustique de la voix humaine

Si précieux sont les examens sur la compréhension du langage, que souvent les chercheurs ne prêtent pas attention au fait que celui qui transmet une information au moyen du langage doit aussi remplir certaines conditions afin que son information puisse parvenir. Dans ce domaine il y a, à dire vrai, des ouvrages sur les recherches de base, rappelons seulement la méthode du « visible speech » — ou les recherches de Meyer-Eppler dans le domaine de la phonétique. En ce qui concerne la compréhension dans les entreprises bruyantes, il n'y a cependant pour ainsi dire aucune publication. On salue d'autant la tentative de Margaria et Cavagna de poser les fondements concernant de telles questions. Ils partirent de l'hypothèse que la capacité de l'oreille et celle de la voix doivent être mises en relation.

Le rapport indique une série d'autres facteurs. L'endroit où l'onde acoustique frappe l'oreille n'est certainement pas sans importance. Pour la question de la direction des stimuli auditifs, la physiologie a apporté des résultats dont le sens n'est pas équivoque. Les questions concernant l'influence de plus hautes intensités restèrent, dans une large mesure, non traitées. Dans les examens neuro-physiologiques et aussi dans les recherches psycho-acoustiques, on travaille principalement avec des « clicks », ou bien on utilise des intensités exactement définies qui ne correspondent pas aux intensités se produisant dans l'industrie. En principe, on a pu constater que, pour une même capacité de la voix, des phénomènes de réflexion et d'interférence se produisent et qu'ils entraînent chez l'homme une modification de l'impression auditive. Comme il a déjà été mentionné, de tels problèmes ne furent envisagés, jusqu'à présent, qu'à des points de vue purement psychologiques ; ainsi sont mesurées, par exemple, les différences de temps de parcours où d'autres données physiques sont indiquées pour l'explication. L'intensité à fournir par la voix dans l'entreprise pour la transmission d'informations est très grande. Margaria et Cavagna ont, pour cette raison, examiné le mécanisme de la formation de la voix pour chercher quels codes sont importants en ce qui concerne la compréhension, en particulier pour la transmission de nouvelles de travailleur. Margaria trouva que, pour des intensités acoustiques au-dessous d'un niveau critique, la régulation de l'intensité ne résulte pas seulement de l'activité des muscles de la respiration, mais qu'un autre mécanisme s'ajoute, caractérisé par une fine régulation dans l'ouverture de la glotte. Il arrive ainsi que des masses d'air déterminées puissent s'échapper, sans que l'intensité acoustique soit agrandie. Pour la formation de la voix, l'intensité et la hauteur du son sont réglées par la musculature respiratoire et par l'ouverture de la glotte.

Le parler habituel de l'homme se situe normalement entre 60 et 70 décibels. Dans l'entreprise industrielle, le parler est inhabituel car, pour être comprise, la voix s'élève à un niveau de 10 décibels au-dessus du niveau ambiant ; celui-ci se situe souvent entre 90 et 100. Cela signifie que, dans un cas semblable, les organes de la parole doivent fournir des intensités allant jusqu'à 110 décibels. Or, l'intensité maximale du langage est d'à peu près 105-108 décibels dans les plus grands cris. Des hommes qui ont à transmettre une information par leur langage doivent donc, pour être encore entendus malgré un assez grand éloignement, dépenser une énergie vocale considérable. A ce sujet, les examens de Margaria et Cavagna donnent des éclaircissements sur l'aspect que doit avoir la répartition spectrale de certaines méthodes de code, de certains choix de mots ou de phrases, afin de ne pas provoquer une fatigue de la voix humaine.

## 2. Hypoacousie, conséquence de la profession

### 2.1. Rapport entre le seuil d'assourdissement et l'hypoacousie future

La conséquence du bruit la plus répandue et pratiquement la plus importante est l'hypoacousie causée par la profession. Concernant ce problème de l'hypoacousie, il existe un tel nombre de recherches et de publications que l'observateur non prévenu peut avoir l'impression en face de ces ouvrages abondants que d'autres travaux sur ce thème ne représenteraient plus que des compléments peu essentiels. Cette impression est erronée, car il est apparu que beaucoup de questions sur l'origine de l'hypoacousie sont restées sans réponse. On s'est ainsi efforcé, en vain jusqu'à présent, de trouver une relation ou une méthode qui permette de constater, dès l'emploi dans une entreprise bruyante, si un travailleur déterminé aura une hypoacousie plutôt qu'un autre travailleur, si les deux travaillent plusieurs années dans les mêmes conditions acoustiques. Plus importante encore apparaît la question de savoir s'il existe des rapports déterminés entre l'assourdissement après une journée dans une entreprise bruyante et une hypoacousie ultérieure à laquelle on peut éventuellement s'attendre. Des recherches américaines ont été communiquées qui tentent d'établir de semblables relations (Ward, Glorig et Nixon).

La limite critique où intervient une modification de la sensibilité auditive est indiquée à des niveaux différents par plusieurs auteurs. Qu'il soit fait ici seulement mention des limites de Rosenblith et Stevens, Cremer et Lübecke, Slavin entre autres. Le grand nombre des courbes d'estimation existantes ont conduit dans une mesure croissante à faire des courbes. N.R. (noise rating), proposées par l'I.S.O. (Organisation internationale de normalisation), la base de l'estimation. Celles-ci sont des lignes descendantes allant des zones de basses fréquences aux hautes fréquences, qui ont une forme déterminée et caractéristique pour chaque intensité. Pour l'appréciation du bruit on part du fait qu'une hypoacousie n'apparaît pas si un travailleur travaille dans un bruit dont la répartition spectrale est au-dessous de la ligne NR 85.

L'ébauche de l'I.S.O. prévoit une détermination de perte auditive dans l'audiogramme à 4.000 Hertz et considère comme limite critique pour des niveaux de bruit acceptables NR 85 seulement dans les domaines compris entre 500 et 2.000 Hertz pour les bruits continus. S'il s'agit, au contraire, d'un bruit intermittent, une reformation d'assourdissement peut apparaître à cause de l'interruption du bruit; des examens expérimentaux (Ward, Nixon et Glorig) ont montré quel temps de repos est nécessaire après un bruit d'une certaine durée qui dépasse NR 85. Avec un diagramme on peut calculer à quelle fréquence un bruit, pendant un temps de travail de 8 heures, peut dépasser la ligne NR 85 sans qu'il y ait de danger de surdité.



Un autre fondement qui a conduit à reconnaître de plus en plus le schéma d'appréciation de l'I.S.O. réside dans le fait que les pertes auditives augmentent rapidement dans les premières années et peu après 10 ans. Des recherches statistiques dans les entreprises bruyantes ont montré que le déplacement temporaire au seuil d'audition TTS (Temporary threshold shift) après un jour correspond à peu près à la perte auditive persistante après 10 ans.

La question se pose de savoir si un tel schéma d'appréciation est applicable à tous les problèmes qui surgissent dans la pratique. L'ébauche de l'I.S.O. n'est certes pas parfaite, mais elle constitue un début discutable. Dans les houillères allemandes, par exemple, elle a été à l'origine d'une commission qui s'est occupée de la ligne directrice durée et intensité du bruit dans la mine. Dans cette direction, qui est basée sur la recommandation de l'I.S.O. et sur les directives de l'association des ingénieurs allemands VDI 2058 (estimation du bruit et protection contre le bruit), est faite la tentative de développer plus avant les propositions de l'I.S.O. Les propositions de l'I.S.O. supposent qu'il y a pendant le travail des arrêts réguliers de bruit. Dans la pratique, ce n'est pas le cas, la plupart du temps, car les intervalles entre deux poussées de bruit ont souvent des longueurs différentes. C'est pourquoi on modifie les propositions de l'I.S.O. en formant de la poussée de bruit avec la pause suivante un « cycle ». Puis on examine si à l'intérieur d'un processus de travail le cycle est bien fermé. Il peut arriver que le temps de repos dans un cycle soit trop court si bien que le temps de repos dans le cycle suivant doit être prolongé d'un certain délai : après la poussée de bruit suivante, il y a donc une pause plus longue.

Une telle considération et estimation des temps d'effet du bruit paraît très significative, car des mesures ont fait apparaître le résultat que dans le travail de la mine, par exemple, les marteaux-piqueurs sont en action environ 90 minutes en tout pendant un poste. Les poussées de bruit isolé qui entrent en jeu ont une durée moyenne d'environ 3 secondes. Les poussées de bruit de 10 secondes sont déjà très rares. Bien qu'il existe relativement peu de mesures de bruit et d'analyse de fréquences de bruits souterrains, il est certain que les marteaux-piqueurs produisent les plus grands bruits dans la mine. À côté, il faut nommer aussi les « haveuses » et les « marteaux-perforateurs rotatifs » qui produisent également de hauts niveaux de bruit. Il ne faut pas non plus sous-évaluer les chocs des wagonnets de transport. Ces bruits ont, en général, des niveaux qui dépassent la ligne NR 85. Dans des cas isolés, on peut, à dire vrai, diminuer les bruits de 5 à 10 décibels. Le danger d'un endommagement de l'ouïe n'est pourtant pas banni pour cela. C'est pourquoi un schéma d'estimation tel que celui-ci devrait être judicieux.

Les recherches effectuées par van den Eijk et soutenues par la C.E.C.A. avaient pour but de révéler les rapports entre bruit et hypoacousie. Il ne se limita pas dans ses recherches aux seules entreprises du fer et de l'acier

ou bien aux industries d'exploitation des mines, il prit bien plutôt ses documents dans diverses entreprises industrielles. Lui aussi considère comme base pour l'estimation d'un bruit, les propositions de l'I.S.O., c'est-à-dire qu'il l'estime d'après la ligne NR 85. Des bruits dont les spectres dépassent cette ligne sont examinés systématiquement dans leur rapport avec l'hypoacousie chez des gens qui ont travaillé dans ce niveau de bruit. Les audiogrammes des travailleurs sont rangés d'après les professions et exploités statistiquement. On fixe en même temps la perte d'audition intervenue pour 50, 75 et 90% des travailleurs examinés. Dans le rapport sur l'examen, les audiogrammes de groupe qui vont ensemble sont confrontés à une collection de spectres de bruits. Cette méthode rend possibles les résultats d'images audiométriques très différenciées dans les entreprises industrielles isolées ou encore dans les niveaux de bruit ou spectres de fréquence isolés.

Au delà, les enquêtes de van den Eijk incitent à s'occuper plus avant d'un autre problème encore. Les efforts pour standardiser les mesures de bruit des machines n'ont pas encore assez progressé pour pouvoir être partout reconnus. Le médecin du travail mesurera toujours le bruit à l'endroit d'une machine auprès de laquelle se tient le plus souvent le travailleur ou plutôt le patient. En ce qui concerne les questions de fabrication et de réception de machines, il est cependant de grande importance que les résultats de mesures lors de la construction de la machine puissent être comparés avec ceux qui existent sur le lieu d'installation. Il est donc recommandé de donner pour toutes les mesures de bruit le point de vue sous lequel ces mesures ont été effectuées. Il n'est pas nécessaire de souligner particulièrement qu'on doit considérer comme primordiale la protection de l'homme contre le bruit, mais que, d'un autre côté, il est aussi justifié de s'en tenir à des mesures points de repère objectifs qui sont fixées par des directives. La mesure de la diminution du bruit se conforme cependant toujours à sa nocivité. C'est ainsi un fait établi de mesurer à un mètre du contour d'une machine pour l'estimation technique. De cette manière, on obtient une valeur moyenne et on possède également les valeurs les plus grandes et les plus faibles. De tels résultats de mesure donnent donc une vue d'ensemble sur la production de bruit et sur le volume du son qui est importante surtout pour l'appréciation de l'audibilité d'un bruit à une certaine distance. Ce que l'intensité ou le volume du son de la production de bruit à la machine ne permet pas de reconnaître, c'est le caractère spécifique du son, non seulement en ce qui concerne l'assemblage des fréquences, mais aussi en ce qui concerne le rythme du bruit, donc, s'il est un bruit intermittent, à pulsions ou à à-coups. Avec le niveau sonore global, on n'obtient qu'une vue d'ensemble utilisable dans un certain conditionnement qui, cependant, ne suffit pas toujours pour la pratique. La connaissance du niveau sonore global est utile si on connaît déjà le spectre de bruit et si on veut comparer divers bruits de machines les uns avec les autres, ou si l'on veut retenir les effets dans l'éloignement pour un bruit relativement de même nature.

Lorsqu'il y a des sons purs ou des parties de bruit particulières que l'homme perçoit en dehors du bruit d'ensemble, il est recommandé d'utiliser le spectre à l'octave ou mieux encore à la tierce et si les oscillations de niveau sont particulièrement grandes, de déterminer encore les sons purs dans une analyse du son pur. Il est caractéristique que les sons purs, qui sont provoqués par effet magnétique à proximité des machines électriques ou qui sont semblables à des sirènes près des trous d'aération, possèdent une forme particulière de propagation du son ; à proximité on les entend relativement peu, mais plus on s'éloigne, plus ils paraissent s'intensifier. Ils déterminent le bruit pour toute une entreprise et on les entend aussi souvent encore distinctement dans le hall voisin. Le fait que le bruit importune le voisinage vient aussi souvent de ce que les sons purs dépassent le terrain usinier et importunent ou dérangent dans le quartier d'habitation ; à très grande distance seulement, ce son décroît. On parle simplement d'un effet de son pur.

Pour la médecine prophylactique, les sons purs jouent de même un grand rôle ; pas tellement à cause du pouvoir qu'ils possèdent de provoquer des sensations gênantes, mais surtout à cause de leur nocivité pour l'ouïe. Il est reconnu qu'un son pur de grande intensité est plus dommageable à l'oreille interne et, par là, pour une hypoacousie qui se développe que, par exemple, un bruit de large bande.

Le groupe de travail « bruit » au sein de la C.E.C.A. a réalisé pour cette raison un échange d'expériences sur les tentatives de standardisation pour les mesures de bruits auprès des machines et discuté les méthodes de mesures et d'estimations individuelles au sein de chaque industrie avec le but d'atteindre une harmonisation de part et d'autre (Schulz).

## **2.2. Influences des stimuli extra-sensoriels sur la fatigue auditive**

Il est très important de savoir si les maladies générales ou locales contribuent à l'hypoacousie. Ricci et Pestalozza se sont occupés très à fond de cette question en étudiant dans l'examen clinique de l'oreille dans quelle mesure des maladies déjà existantes de l'oreille moyenne étaient une protection pour l'hypoacousie commençante ou dans quelle mesure elles accélèrent ou activent le processus hypoacousique. Dans une série d'examen approfondis auprès d'un groupe de 3.600 ouvriers, on a pu clarifier à l'aide d'analyses statistiques concernant les causes secondaires de la surdité professionnelle quelques aspects du rapport existant entre la perte de l'audition spécifique permanente et l'influence de quelques facteurs locaux et généraux. Il se révéla que les facteurs généraux représentent en permanence une influence négative pour l'hypoacousie. Cette constatation vaut aussi bien pour les facteurs généraux existant déjà lors de l'entrée en activité que pour ceux qui sont apparus après cette date. Le processus pathogénétique dans lequel ces facteurs produisent tout leur effet peut naturellement être différent.

Dans la forme infectieuse, l'agent pathogène agit directement ou indirectement sur l'oreille interne. Les dommages issus de l'influence bactérienne sont parfois si peu importants qu'ils n'ont pas d'action repérable sur la fonction auditive, au moins aussi longtemps que l'ouïe n'a pas à supporter d'excitations acoustiques trop intenses. Cependant ces modifications de moindre importance, dans beaucoup de cas, diminuent considérablement la faculté de résistance et de remise en état de l'appareil auditif. Mais ce ne sont pas seulement les influences infectieuses, mais aussi les intoxications cliniques et médicamenteuses qui augmentent l'action des enzymes cataboliques et conduisent ainsi de manière prédominante à des transformations irréversibles dans l'oreille interne. Il apparaît aussi que les substances nommées ont pour conséquence d'endommager la structure des vaisseaux, la composition et les humeurs auxquelles incombe l'échange du liquide du labyrinthe, si bien qu'intervient un trouble profond de la dynamique endolymphatique.

Ricci et Pestalozza constatèrent que, dans l'état actuel des travaux, il ne peut pas encore être tiré au clair de manière non équivoque si on doit parler en ce qui concerne les causes secondaires générales, plutôt de facteurs négatifs que de facteurs prédisposants. Dans la plupart des cas, il ne fut pas possible aux chercheurs dans leur estimation de se reporter aux audiogrammes qui furent pris avant l'enquête. Étant donné que la surveillance des maladies professionnelles inclut seulement depuis peu également la surdité professionnelle, il ne sera possible que dans quelques années de pouvoir donner à ce problème des explications précises.

En ce qui concerne les causes secondaires locales, Ricci et Pestalozza constatèrent qu'il existe, particulièrement chez les travailleurs des industries textiles, un haut pourcentage de maladies de l'ouïe (36,6% des cas examinés). La plupart des spécialistes sont d'accord pour attribuer ce fait à un état infectueux chronique des voies respiratoires primaires et, en conséquence, de l'oreille moyenne, ainsi qu'au degré hygrométrique, à la chaleur, à la ventilation insuffisante et à la présence de poussières industrielles. Dans un grand nombre de cas, Ricci et Pestalozza purent remarquer que les effets de défense de l'otopathie (avec ou sans perforation du tympan), qui interviennent avant ou après l'entrée au travail, n'existent pas, mais que ceux-ci doivent plutôt être considérés comme un facteur frénateur ou indifférent. Seulement pour les otites chroniques avec perforation et suppuration, qui existaient déjà avant le début du travail, on constate une petite protection de l'oreille interne.

L'effet de défense qui peut être fondé par des transformations particulières anatomiques et pathologiques de l'oreille moyenne (granulations hypoplastiques ou également masses de cholestéatomatose) n'explique pas pourquoi il n'y a pas de symptômes analogues dans les cas de graves tympano-scléroses avec rétraction cicatricielle cavitaire et élévation correspondante de la gêne pour la transmission acoustique par les osselets, en particulier lorsque ces

maladies auditives étaient apparues déjà avant le début du travail. Cette constatation du manque d'effet de défense paraît avoir une valeur pour les chercheurs, car on considère que de telles constatations doivent être considérées du point de vue statistique.

La critique peut cependant objecter que la division en 1) inflammation de l'oreille moyenne purulente chronique et avec exsudat, 2) inflammations de l'oreille moyenne purulentes, chroniques, perforées mais sans exsudat et tympano-scléroses, ne peut pas être toujours faite de manière tout à fait systématique, car le processus inflammatoire est pris dans le stade aigu chez un patient, tandis qu'il est pris dans un stade non aigu chez un autre et à cause de cela est rangé dans un autre groupe. Le problème de classification rend donc difficile l'exploitation et le traitement statistique des cas particuliers considérés. La classification telle que Ricci et Pestalozza l'ont entreprise se rapporte seulement au moment de la perte auditive et ne peut donc pas encore être citée comme une déduction valable en général. Cette constatation est particulièrement importante dans la mesure où il existe une série de rapports sérieux, qui parlent d'un effet de défense des otites, quel que soit le stade d'inflammation dans lequel se trouvent les hommes.

Dans les réunions du groupe de travail « recherche sur le bruit » à la C.E.C.A. à Luxembourg, cette question de la protection contre les débuts d'hypoacousie ou encore contre l'accélération d'une hypoacousie commençante par des facteurs locaux et généraux joua un grand rôle par conséquent. Au cours de ces discussions, il apparut particulièrement important de traiter la question de savoir si la streptomycine ou d'autres antibiotiques provoquent des abaissements de l'audition. Le résultat d'un échange d'expériences fut d'être en mesure d'apporter la preuve qu'un traitement à la streptomycine ou à la pénicilline ne provoque pas toujours un amoindrissement de l'audition. Si on évite d'importuner l'oreille par le bruit au début du traitement par la streptomycine, l'ouïe n'est pas endommagée dans la majorité des cas. Au contraire, si l'oreille est soumise au bruit, même à des bruits d'intensité moyenne, on doit compter, en règle générale, avec un amoindrissement persistant de l'ouïe.

Il est aussi prouvé que certains aspects de maladie, par exemple certaines formes de lésion du foie ou des troubles du métabolisme ou des hypertonies qui sont essentiellement conditionnées, ont pour conséquence une aggravation de l'hypoacousie. La signification pratique de ces examens est grande si l'on considère que pour une série de travailleurs dont l'âge augmente les maladies de toutes sortes sont plus fréquentes que dans les jeunes années. Dans cette mesure, les travaux de Ricci et Pestalozza comme les communications des cas considérés à l'intérieur du groupe de travail « bruit » donnent des points d'appui précieux à l'activité du médecin du travail pour protéger, dans le cas isolé, le travailleur et par là aussi son entourage contre les suites de l'hypoacousie.



### 2.3. Capacité de rendement et bruit

Le fait que la capacité de rendement subisse l'influence du bruit a été déjà constaté plusieurs fois par une série d'examens expérimentaux. Cette influence ne se rapporte pas tellement à la capacité corporelle de rendement, mais davantage à l'influence sur la motricité et les fonctions sensorielles. Ce sont donc surtout des facteurs psychologiques qui subissent l'influence du bruit et par là transforment la capacité de rendement dans un sens positif ou négatif. Comme le constate déjà le rapport de synthèse de la C.E.C.A. en 1960, la naissance de l'hypoacousie, ou une hypoacousie existante, modifient la capacité de rendement. On doit ajouter que l'isolement croissant de travailleurs qui ont un début d'hypoacousie a des conséquences psychiques de restructuration, qui ne restent pas sans influence sur le rendement. D'un autre côté, c'est un fait connu que des ouvriers qui travaillent dans le bruit et des ouvriers qui ont une ouïe mauvaise peuvent, particulièrement à cause du peu de dérangement occasionné par le bruit, travailler de manière plus concentrée. Quelques entreprises de la C.E.C.A. en sont arrivées à engager des ouvriers qui sont sourds-muets de naissance. Les expériences faites avec ces ouvriers ne sont pas concluantes. Cela vient essentiellement de la structure psychique des sourds-muets, qui est différente de celle des hommes normalement constitués.

On ne peut donc encore répondre clairement à la question de la capacité de rendement dans le cas d'hypoacousie en l'état actuel des recherches tout aussi peu que peut être précisée aujourd'hui la capacité de rendement pour la plupart des autres maladies générales. Un résultat clair concernant ce problème est entaché des mêmes difficultés qui existent déjà pour la détermination de la capacité de rendement dans des conditions normales. Les méthodes de physiologie du travail, au moyen desquelles la capacité corporelle de rendement peut être connue (par exemple : mesure de fréquence du pouls et détermination du métabolisme), ne peuvent être employées dans les recherches sur le bruit, car, justement, les fonctions physiologiques qui peuvent être connues par les méthodes nommées ne sont pas influencées par le bruit.

Mais comme il est certain, d'autre part, que la capacité de rendement est modifiée par la restructuration psychique provoquée par l'hypoacousie commençante comme aussi par les maladies, une future recherche sur le bruit devra approfondir l'étude de ce problème.

### 3. Effets somatiques du bruit

L'organisme humain réagit au bruit par une série de phénomènes, avant d'en arriver à la modification de la sensibilité auditive décrite dans le chapitre précédent. Chacun sait qu'un bruit qui intervient brusquement fait sursauter ; les yeux se ferment la plupart du temps involontairement et la tête se tourne dans la direction de la source sonore. L'influence sur la respiration est sensible, dans le premier instant on retient son souffle, pour ensuite respirer profondément et lentement et après, de manière accélérée. Ces réactions s'expliquent, car les fibres du huitième nerf du cerveau (nerf cochléaire) passent par la bulbe dans lequel il y a les centres de fermeture des paupières, ceux pour tourner la tête et la motricité des muscles des yeux ; également les centres de la circulation du sang, de la respiration et d'autres fonctions physiologiques importantes ici localisées.

#### 3.1. Examen du métabolisme dans les excitations acoustiques

L'observation des réactions au bruit et la connaissance des rapports anatomiques ont conduit dans les dernières années à des examens systématiques de cercles fonctionnels individualisés par des influences acoustiques définies. En particulier, on connaît des essais sur des animaux, réalisés, par exemple, par Bugard. Les intensités utilisées dans ces essais furent, la plupart du temps, au-dessus du seuil nuisible à l'ouïe, donc au-dessus de 90 phones. Souvent pourtant furent choisies également des intensités au-dessus du seuil de la douleur (120 décibels et plus).

Corbeille et Baldes firent des examens spéciaux et précisèrent l'action sur la respiration et la circulation. Ils prirent comme animaux d'expérience des animaux à sang chaud et purent constater des transformations de la pression artérielle, de la respiration et des battements de cœur. Pour étudier plus à fond le mécanisme de déroulement de tels changements fonctionnels, ils décérèbrèrent quelques animaux et les exposèrent aux mêmes excitations acoustiques qu'avant la décérébration. Comme le bruit provoqua les mêmes transformations respiratoires et circulatoires chez les animaux qu'avant la décérébration, il était prouvé que l'écorce du cerveau proprement dite est de peu de signification pour le jeu des réflexes conditionnés sur le plan acoustique.

Laird et Smiths purent constater, en 1930, lors d'examens sur l'homme, un ralentissement des mouvements péristaltiques de l'estomac, un amoindrissement de la sécrétion gastrique et une diminution de la teneur en acide gastrique dans l'estomac. D'autres communications décrivaient les résultats sur les examens concernant les réactions du métabolisme sous l'action du bruit. Également, Lindsley et Kennedy firent un rapport en 1928 sur l'élévation de la consommation globale. Uglow, Martischenja et Goldberg constatè-

rent chez un sujet sur les trois qui furent soumis à l'expérience, des transformations du métabolisme sous l'effet du bruit. Il y a quelques années, Harmon et Stevens produisirent des examens qui ont montré chez toutes les personnes soumises à l'expérience des élévations du métabolisme sous l'action d'un bruit de longue durée. Ces communications, dans leur ensemble, ne suffisent pas cependant à donner la preuve concluante qu'il existe, lors des excitations acoustiques en général, des élévations du métabolisme ou même des modifications du métabolisme.

### 3.2. Influence des excitations acoustiques continues et intermittentes sur le système cardio-vasculaire

Rothlin, Emmenegger et Cerletti, aussi bien que Doepfner et Cerletti firent des rapports sur les phénomènes d'hypertonie sous expérimentation chez les animaux (en particulier chez les rats). En même temps, ces auteurs rapportent que la sécrétion gastrique se réduit, l'élimination d'eau par les reins diminue et le métabolisme augmente.

L'autopsie des animaux d'essais montre une élévation du poids du cœur. De semblables phénomènes n'ont pas fait jusqu'à présent chez l'homme l'objet d'une communication aussi exacte. Bugard aussi bien que Steinmann, Jaggi et Widmer rapportèrent, d'ailleurs, qu'eux aussi enregistrèrent des élévations de tension artérielle chez l'homme, cependant que Bugard fit ses remarques sur les travailleurs dans les entreprises bruyantes, pendant que Steinmann produisait expérimentalement l'hypertouïe dans les essais faits dans le bruit. Par des essais pratiqués sur des animaux par Rushmer et ses collaborateurs, on sait que chez des chiens qui ne sont pas sous l'influence de narcotiques, le cœur est soumis à une augmentation du remplissage diastolique. Ces résultats furent obtenus par la méthode de mensuration de la cavité cardiaque au moyen d'un cathéter intra-cardiaque.

Des modifications significatives de la circulation provoquées par le bruit se trouvent également dans les essais de Lehmann, Grandjean, Meyer-Delius, Jansen, Maugeri, parmi d'autres. Les auteurs précités remarquèrent sur des personnes en bonne santé, ayant une ouïe normale, soumise à une expérience par l'analyse de la circulation, que la circulation subit une modification sensible de sa fonction. Le débit cardiaque diminue dans la majeure partie des cas, tandis que, dans la périphérie, il arrive à une augmentation de la résistance périphérique, si bien qu'on peut conclure à une vaso-constriction précapillaire. Meyer-Delius examina plus à fond les élévations de résistance périphérique et put, par des méthodes pléthysmographiques saisir exactement les modifications de la circulation provoquées par le bruit. Il établit des rapports entre la durée des excitations par le bruit et la durée des vaso-constrictions.

La caractéristique des états circulatoires mentionnés (vaso-constriction) est qu'ils apparaissent déjà avec des intensités relativement faibles (à peu près 65 décibels). Avec une intensité croissante, les réactions que Jansen put montrer sont plus étendues. Il existe une dépendance linéaire entre les réactions végétatives et l'intensité. Il existe également une dépendance entre la grandeur des réactions végétatives et la largeur de bande (Jansen et Rey).

Des examens semblables furent connus en 1944 par Rothlin et Bluntschli, dans lesquels des diminutions de volume de la main furent observées en milieu bruyant. Dans ces cas également, ce phénomène est appelé vaso-constriction végétative. Dans le même sens, Oppliger et Grandjean rapportèrent également les réactions vaso-motrices de la main dans les excitations acoustiques aux vaso-contractions précapillaires ; dans ces essais furent mesurées également les températures de la peau de manière synchrone. Des examens semblables de Silink et Sedlacek sont déjà connus : ils remarquèrent de même des abaissements de la température minimale de la peau et les rapportèrent aux vaso-contractions précapillaires.

Comme Jansen put le montrer, les excitations acoustiques continues et intermittentes ont la même action sur le système cardio-vasculaire. Si l'on jette maintenant un regard d'ensemble sur les examens communiqués jusqu'à présent, on reconnaît que le système circulatoire est influencé dans le sens d'une fonction ergotrope croissante, qui est caractérisée particulièrement par la vaso-constriction précapillaire.

### **3.3. Action des bruits typiques dans l'industrie sidérurgique sur les fonctions circulatoires**

Les examens décrits jusqu'à présent furent faits, généralement en laboratoire, avec des bruits à larges bandes ou des bruits définis. L'exécution des essais ainsi que l'exploitation et l'interprétation des résultats ont eu pour but de faire ressortir les actions générales du bruit et il fut supposé que les réactions végétatives apparaissent chez tous les hommes lorsque n'importe quel bruit agit sur l'homme. Mais on voit facilement que les deux points de départ ne sont pas toujours justes, car il y a des différences individuelles dans la réaction au bruit et, de plus, la forme du bruit, c'est-à-dire la constitution physique acoustique, est très importante pour la formation d'effets somatiques. Comme il fut indiqué déjà dans le chapitre précédent, il existe parallèlement à l'influence de l'intensité une influence de largeur de bande.

Au premier plan de l'intérêt du médecin du travail, il y a la réaction individuelle au bruit.

Heinecker a essayé, dans un examen assez vaste, de prendre position en face de ce problème. Dans ses examens, il avait un groupe caractérisé essentielle-

ment par une régulation trophotrope (vagotonique) de la circulation dans lequel dominait la constitution leptosome et un groupe caractérisé essentiellement par une régulation ergotrope (sympathicotonique) de la circulation du sang, dans lequel dominaient des « Athletopykniker » et des « Pykniker ». Pour la majorité des personnes soumises à l'expérience, Heinecker remarqua, pendant l'action du bruit aussi bien dans l'emploi de la méthode d'analyse de la circulation (Wezler et Boger) que par la méthode des spirogrammes continus, qu'interviennent des irrégularités de la tension artérielle, des troubles dans le débit cardiaque, l'augmentation du pouls, la montée de la résistance des vaisseaux, surtout de la vaso-constriction périphérique, une instabilité accrue de la ventilation, et des réactions disparates dans la consommation d'oxygène et dans la différence artério-veineuse. Le groupe trophotrope montra cependant toujours une assez faible montée de la pression artérielle pendant la systole, et une assez forte pendant la diastole. La ventilation du cœur montra surtout une chute peu importante, par contre une montée considérablement plus grande de la résistance périphérique que pour le groupe ergotrope. L'accroissement de la consommation en oxygène et l'agrandissement de la différence artério-veineuse étaient un peu plus grande dans le groupe trophotrope que dans le groupe ergotrope. On arrive donc à la conclusion que, pour la régulation ergotrope de la circulation du sang, le corps est influencé autrement par le bruit que dans la régulation trophotrope. Dans une optique de médecine du travail, cela a une signification en ce sens que la valeur de repos des pauses dans lesquelles la circulation va de l'ergotrope au vagotrope, diminue. Cet état de choses mis en évidence par Heinecker fait comprendre qu'on peut en venir, sous l'influence du bruit, à des réactions contradictoires comme purent déjà le montrer Lehmann et Tamm, ainsi que Jansen.

Dans les déterminations avec le ballistocardiogramme, Jansen vit de même deux groupes de réactions : un groupe de personnes soumises à l'expérience avec une bonne valeur au départ montrèrent une diminution de volume de battements de cœur d'à peu près 10%, tandis qu'un autre groupe plus restreint dont le volume des battements était très bas, réagit avec une élévation d'à peu près 10 %. On ne put cependant pas encore prouver sans conteste que cette situation de départ, différente sur le plan végétatif, est liée de manière corrélatrice avec une situation psychique différente à l'origine. Des examens concernant ce point seraient d'un grand intérêt et d'une grande valeur.

Avec le soutien de la C.E.C.A., Jansen réalisa une série d'essais dans lesquels les réflexes végétatifs furent examinés sur quelques bruits typiques dans l'industrie du fer et de l'acier. L'intention était de comparer l'action de bruits synthétiques à large bande et des bruits industriels. Les essais furent réalisés dans une première série d'essais sur des personnes au repos, dans une deuxième série avec les mêmes personnes et le même bruit pendant que ces personnes fournissaient un travail physique (cyclo-ergomètre). Com-

me bruits furent utilisés trois bruits industriels. Le premier était le bruit d'une poinçonneuse, le second d'un burin à air comprimé et le troisième d'une turbine. Ces trois bruits furent comparés en ce qui concerne leur action avec les bruits à large bande (bruit blanc). Dans une première série d'essais, ces trois bruits furent présentés en une suite constante. Il en résulta en moyenne des réactions végétatives devenant plus importantes de bruit à bruit si bien que l'on peut parler d'un effet cumulatif. Cet effet cumulatif était inattendu car d'après les examens de Meyer-Delius, les trois pauses d'une minute et demie étaient choisies dans l'intervalle de deux bruits d'une demi-minute pendant assez longtemps pour permettre à la réaction déterminée par le bruit de s'éteindre. Après avoir terminé cette série d'expériences, Jansen examina systématiquement le problème de savoir s'il existe un effet cumulatif des excitations acoustiques.

L'application des bruits à large bande (95 décibels) suivit chaque fois pendant une demi-minute. Dans l'intervalle de deux bruits fut placée, dans la première série d'essais, une pause d'une demi-minute. Dans l'autre série, les pauses entre les bruits d'une demi-minute furent d'une minute, une minute et demie, deux minutes et trois minutes. Il en résulta que, dans les essais avec les pauses d'une demi-minute et d'une minute, l'action sur la vaso-constriction périphérique pendant une expérience d'une durée d'une demi-heure était plus petite que dans les séries d'essais avec des pauses plus longues. On suppose qu'indépendamment du nombre des bruits, beaucoup de petites pauses sont plus favorables que beaucoup de longues pauses. Cette formulation correspond sur le plan formel avec d'autres états de fait dans l'otologie, dans lesquels il fut trouvé que beaucoup de petites pauses pour une soumission au bruit pendant 8 heures permettent un repos plus rapide de la fatigue momentanée qu'un petit nombre de longues pauses.

Pour plus d'éclaircissement sur ce problème, on recommença les essais avec les bruits originaux en présentant les bruits à large bande et les bruits originaux non pas selon la description précédente en une suite constante mais en une suite interrompue au hasard. Les pauses entre chaque phase de bruit furent maintenues à trois minutes et demie comme dans la première série d'essais. L'exploitation des deux séries d'essais donna pour résultats une forte réaction végétative croissante du 1<sup>er</sup> au 5<sup>e</sup> bruit. Les pourcentages sont : au calme, 100 % ; 1<sup>er</sup> bruit : 83,4 % ; 2<sup>e</sup> bruit : 85 % ; 3<sup>e</sup> bruit : 78 % ; 4<sup>e</sup> bruit : 79,1 % et dernier bruit : 73,4 %. En se fondant sur ces résultats, on peut déduire que ni la forme du bruit ni l'ordonnance n'a déclenché l'effet cumulatif, mais que cet effet cumulatif est conditionné par le rapport entre le stimulus sonore et l'interruption entre les bruits.

Dans une autre série d'essais furent examinées les réactions végétatives qui intervenaient dans un travail physique sous l'incidence de bruits concomitants. L'ordonnance des essais fut la même que dans les examens antérieurs encouragés par la C.E.C.A. (cf. publication de G. Jansen : « Incidence du bruit

dans le travail physique »). Les résultats des examens montrèrent que les bruits originaux pour un travail de 5 kilogrammètres par seconde provoquent à peu près des réactions aussi fortes que les bruits à large bande. Ainsi il semble que, dans le travail physique également, l'influence du bruit existe encore, pour autant que ce travail physique ne soit pas trop pénible.

En conclusion, on peut constater que les bruits à large bande et les bruits originaux pour une intensité définie et un travail physique facile ou moyennement difficile, ont provoqué des réactions à peu près aussi grandes. Il se révéla également que le rapport entre stimulus sonore et interruption des bruits a une signification non seulement pour la forme de la fatigue de l'ouïe, mais aussi pour la force de la réaction végétative : des effets cumulatifs dans la réaction végétative sont provoqués par des rapports déterminés entre excitation acoustique et interruption de bruit.

On peut penser que des réactions physiologiques aux stimuli sonores par déclenchement continu, c'est-à-dire après des années de travail dans le bruit, puissent se déformer en une modification pathologique dans certains organes ou dans certaines issues fonctionnelles. Dans un examen de Seyfarth, en 1940, on a donné les résultats des examens pratiqués sur 120 ouvriers dans des entreprises très bruyantes. Dans cette communication, la preuve fut apportée que l'action du bruit peut être à l'origine de troubles nerveux. Seyfarth répartit ses patients en un groupe de « sensibles au bruit » et en un autre « insensibles au bruit ». Cette supposition que ceux qui sont sensibles au bruit ont d'autres réactions que ceux qui y sont insensibles, pourrait bien cependant ne pas convenir. Comme on le sait par les examens de Lehmann et de ses collaborateurs, les ouvriers qui travaillent dans le bruit et sont devenus insensibles au bruit après 10 ans de travail dans le bruit, peuvent être influencés sur le plan végétatif par des bruits originaux aussi bien que par des bruits de laboratoire.

Bugard examina de même des hommes, sans cesse exposés par leur profession au bruit. Parmi 200 monteurs d'avions, il trouva un très fort pourcentage de gens qui présentaient des tableaux cliniques bénins. Au premier plan, il y avait le signe d'une insuffisance surrénale. Il remarqua une excitabilité nerveuse, l'augmentation des réflexes ostéotendineux, la parution fréquente du signe de Chvostek. Il trouva des céphalées, des insomnies, des instabilités d'humeur, une diminution du rendement professionnel, des modifications assez faibles de l'électrogénèse cérébrale, à l'occasion également de l'anémie hypochrome, la leucopénie, la neutropénie et des modifications dans le nombre des éosinophiles.

Sur plus de 1.000 travailleurs allemands de l'industrie lourde, Jansen examina, en 1956-1958, sur la demande de la C.E.C.A., l'influence du bruit sur le sys-

tème végétatif. Des troubles fonctionnels végétatifs durables furent soumis à un examen pour savoir s'ils doivent être rapportés à l'action du bruit qui persista en moyenne 11 ans. Chez les travailleurs des entreprises bruyantes, il résulta pour à peu près 61 % des symptômes qui indiquaient des troubles périphériques de la fonction circulatoire. Par exemple, les ouvriers se plaignirent souvent de paresthésies dans les extrémités, de même on se plaignit, entre autres, que les doigts devenaient blancs. Celui qui examinait, remarquait ces gens à cause de leur peau pâle et tendue ainsi que pour le détachement de la muqueuse dans la bouche et dans le pharynx, qui était lié, la plupart du temps, avec la sensation de dessèchement. Parmi les 336 ouvriers des entreprises de contrôle (des entreprises calmes, moins de 90 décibels), la proportion de ces symptômes périphériques circulatoires fut avec 48 % de manière significative plus basse que chez les ouvriers exposés au bruit. Comme autres troubles fonctionnels, il faut encore mentionner les symptômes cardiaques et les troubles de l'équilibre. Pour 24 % des ouvriers exposés au bruit, on constate des anomalies du rythme cardiaque ou encore un grand nombre d'extrasystoles ou de la tachycardie ; le nombre de comparaisons pour les travailleurs dans des entreprises calmes fut de 16 %. Également le nombre élevé de 17 % en tout, de troubles de l'équilibre est très remarquable, et il est vraisemblablement conditionné par le bruit.

Si les communications, peu nombreuses, sur les examens dans la pratique sont restreintes, il paraît bien pourtant prouvé que le bruit ne reste pas sans effets sur la santé de l'homme. Il est encore trop tôt pour parler « d'un syndrome du bruit » dans un sens défini ou même d'une maladie du bruit. Une telle maladie du bruit serait, sans doute, la clef de la solution à beaucoup de problèmes au sein des recherches sur le bruit en général. Pour cette raison, il est peu courant de pratiquer des recherches spéciales, en particulier avec des conditions pratiques, pour mieux comprendre les symptômes de maladies qui interviennent dans les entreprises bruyantes.

Sous ce rapport, il peut être important de considérer également l'influence du bruit sur l'endocrinologie, comme Bugard l'a fait de façon intensive. Il a déjà été mentionné que les modifications du nombre des éosinophiles sous l'influence du bruit est significative. Bugard pouvait trouver que les modifications sont conditionnées essentiellement par les influences fonctionnelles des cortico-surrénales et du lobe antérieur de l'hypophyse. À côté de l'augmentation de l'éosinophilie lorsque le bruit est mis en route et une éosinopénie qui s'ensuit, dont les effets peuvent encore être remarqués jusqu'à 4 heures après, il y a aussi des modifications synchrones dans le sens d'une polynucléose neutrophile avec lymphopénie. Tandis que des modifications glycémiques se montrent moins révélatrices pour la caractérisation d'un son, il y a, après l'extinction du son, une élimination des 17 céstéroïdes dans l'urine chez les animaux. Des études histologiques ont été également réalisées et des modifications œdémateuses dans le tissu pulmonaire et rénal furent



observées. De même les parties épithéliales des capsules surrénales montrèrent des altérations et on découvrit sur le cœur la coagulation de protéines dans le sarcoplasme.

#### **3.4. Signification du contenu d'information d'une excitation acoustique donnée pour le déclenchement des réactions du « stress »**

Les résultats décrits au paragraphe précédent concernant l'influence du bruit sur l'endocrinologie montrent qu'on en vient, lors de l'utilisation de hautes intensités (130, 140 décibels) à un « stress ». Cela signifierait que ce genre d'excitation acoustique, à l'opposé des réactions végétatives « primaires » indépendantes de l'effet psychique chez l'homme, agit essentiellement sur leur contenu d'information et sur l'influence directe des glandes endocrines. La caractéristique la plus importante et déterminant le stress paraît être, d'après les examens faits jusqu'à présent, une hyperactivité fonctionnelle dans les cortico-surrénales et dans le système hypothalamo-hypophysaire. A cela s'ajoute que Bugard a pu observer une hyperactivité fonctionnelle de la glande thyroïde et que l'activité des gonades est fortement influencée par le bruit dans les essais sur les animaux. Chez les rats femelles, on observa, par exemple, un raccourcissement du cycle provoqué par des bruits intensifs. Dans d'autres essais, Bugard put observer des crises audiogènes chez les animaux, provoquant des crampes épileptiques et tonocloniques chez les souris. Il pense que l'action acoustique s'exerce sûrement sur l'oreille, qu'en cela non seulement les voies acoustiques, mais aussi les voies excitées non spécifiquement irradiatives, sont importantes pour la formation des réactions décrites. Mais, par ailleurs, il ne conteste pas une influence directe sur le protoplasme vivant. Qu'il soit remarqué à titre critique que l'action, par exemple sur la glande thyroïde ou sur les gonades, ne s'explique qu'indirectement. On doit aussi considérer que les influences acoustiques qui sont pour nous dans un domaine inaudible (20 - 40 kilohertz) sont perçues par beaucoup d'animaux. C'est pourquoi il faut utiliser les résultats des essais sur les animaux avec réserves, car ils ne représentent pas dans ce cas les conduites humaines.

Le facteur environnant « bruit » provoque dans tous les cas des réactions de stress, quand l'intensité est choisie suffisamment haute, ou quand le bruit dans de faibles intensités est particulièrement riche d'information et significatif (cris de peur d'animaux du même genre, etc.). On peut en venir aux célèbres syndromes d'adaptation (Selye). Milin constata après le bruit une augmentation des cellules alpha dans la partie antérieure de l'hypophyse. Fortier partage également la conception qu'un bruit intensif et qui dure assez longtemps exerce une action sur l'hypophyse, sur les cortico-surrénales et sur la sécrétion hormonale. Cannon comparait déjà, en 1929, la réaction au bruit avec les autres fonctions de détresse (l'angoisse, la faim, les réactions de douleur et de colère) du système sympathique. On peut aussi constater que le bruit entraîne des réactions ergotropes du système nerveux végétatif.

A côté des réactions individuellement différentes du corps aux excitations bruyantes, il doit également être fait mention du sens du type de bruit. Bugard avait déjà trouvé que, dans les essais avec un bruit intensif, c'était moins la fréquence qui était déterminante que l'intensité. Des remarques semblables furent faites également dans les examens de Lehmann et coll., qui purent trouver la largeur de bande du bruit comme paramètre déterminant pour la force des réactions végétatives. La fréquence ne paraît pas exercer une influence particulière sur le déclenchement des réflexes végétatifs des vaisseaux. L'opinion générale que des tons hauts sont plus nocifs que des bas est, à dire vrai, juste en ce qui concerne les endommagements acoustiques de l'oreille, ils apparaissent subjectivement même plus significatifs ; cependant, il n'y a pas encore de preuve d'une action plus forte des sons hauts sur le plan somatique. Il serait d'ailleurs possible que des modifications de la circulation puissent être provoquées par de fortes affections psychiques. Dans cette mesure, il s'avère approprié de distinguer entre les réactions primaires végétatives et secondaires végétatives. Dans les essais décrits au précédent chapitre de Lehmann, Jansen, Maugeri, Grandjean, parmi d'autres, il s'agit de saisir les réactions primaires végétatives, tandis qu'il s'agit, dans les réactions formées dans la psyché, de réactions végétatives secondaires (réactions du stress).

### **3.5. Réactions secondaires du système végétatif provoquées par les bruits industriels**

De la question des réactions secondaires végétatives, s'est occupé en particulier von Eiff à la demande de la C.E.C.A. Il examina les fonctions végétatives suivantes : pression artérielle systolique et diastolique, amplitude et fréquence du pouls (ce dernier étant pris digitalement), le volume de l'air inspiré, la fréquence de la respiration, le manque d'oxygène dans l'expiration, la teneur en anhydride carbonique de l'air expiré, comme l'activité musculaire spontanée électrique (comme électromyointégrale). Le quotient respiratoire fut ainsi calculé comme grandeur dérivée. La charge de bruit était le bruit d'une presse sur les personnes soumises à l'expérience avec une intensité originale de 92 décibels. La durée de bruit comportait dans une série d'épreuves 65 minutes en continu et, dans une autre, bruit régulièrement interrompu pendant 65 minutes, 5 minutes de bruit alternant avec 5 minutes de pause. Dans une troisième série : bruits irrégulièrement interrompus (en tout six pauses de longueur irrégulière alternant avec des phases de bruit de durée différente) pendant 65 minutes. Des résultats d'examens de von Eiff peuvent être tirées les conclusions suivantes. Dans tous les examens portant sur des réactions végétatives ou psychophysiologiques, il faut compter qu'au moins une partie des modifications mesurées est due aux circonstances de l'expérience (ou bien au laboratoire ou bien aux conditions du champ). Il faut essayer de dissocier celles-ci des effets propres du bruit ou des effets propres de la contrainte. En général, on peut supposer que des influences dues aux conditions expérimentales ne paraissent plus, lors d'expériences répétées, à

partir du troisième jour. Également pour la contrainte provoquée par l'excitation, il y a des réactions qui cessent au cours d'autres examens semblables. De même que l'individu se fait aux conditions qui accompagnent la méthode expérimentale, de même il s'accoutume à la situation de contrainte, si bien qu'une partie des réactions chez les personnes examinées en laboratoire doit être considérée comme une irritation explicable par la nouveauté de la situation « bruit ». D'un autre côté, il est également possible que, causées par le bruit, des « réactions retardées » apparaissent, que ce soit après une journée de travail dans une entreprise bruyante, que ce soit après une exposition assez longue dans le courant de mois ou d'années, qui n'ont pas été relevées avec la méthode employée en laboratoire. En dépit de cette remarque préliminaire, von Eiff arrive par ses examens à un résultat concret.

Les essais effectués au cours de cinq jours consécutifs, en raison des modifications trouvées des quantités respiratoires et du tonus musculaire électrique, permettent de conclure à la possibilité d'une irritation de la vie psychique et de la vie végétative, également après une assez longue exposition au bruit qui peut devenir un trouble végétatif endommageant la santé. En particulier, les élévations de la tension artérielle diastolique relativement très constantes et assez longues laissent penser qu'une élévation du tonus des vaisseaux conditionnée par le bruit peut jouer un rôle dans l'apparition d'une hypertension artérielle.

La constatation la plus importante dégagée des recherches de von Eiff est sans doute que toutes les fonctions corporelles ne changent pas de la même façon si l'on présente des sortes de bruits différents. Une telle interprétation des résultats devient particulièrement claire par la conclusion suivante : 1. A l'opposé du bruit qui dure, le bruit interrompu périodiquement apporte une réponse d'excitation très universelle. 2. Pour un bruit qui dure, il y a une réaction diastolique certaine seulement vers la fin, tandis que pour un bruit variable périodiquement, il existe une élévation diastolique pendant toute l'épreuve. 3. La ventilation baisse plutôt pour un bruit qui dure, tandis qu'elle monte manifestement pour un bruit variable périodiquement. 4. Il n'y a pas d'élévation de l'activité musculaire électrique pour un bruit qui dure, mais il y en a une pour un bruit variable périodiquement. 5. La réaction diastolique qui survient aussi bien pour un bruit qui dure que pour un bruit périodique n'a absolument pas lieu lors d'un bruit irrégulièrement interrompu. 6. Pour cela, l'activité musculaire électrique est très fortement influencée pour un bruit irrégulièrement interrompu. von Eiff résume ces résultats comme suit : toutes les fonctions corporelles ne répondent pas au bruit. Aussi bien en ce qui concerne une fonction corporelle que pour le choix des fonctions corporelles auxquelles on s'adresse, la structure temporelle dans laquelle le bruit est présenté n'est nullement indifférente. Et, finalement, un effet de répétition n'a été prouvé que pour quelques fonctions corporelles dans la première phase des examens. Les résultats des examens de von Eiff ne sont pas loin d'indiquer que les réactions secondaires végétatives sont dépassées

et modifiées par des structures psychiques. Les indications de personnes affirmant une absence de gêne au bruit n'impliquent donc pas un manque de réactions végétatives, ce qui a déjà été exprimé dans les examens de Grandjean, Maugeri, Lehmann, Jansen et d'autres. Donc, même dans ces cas où l'on ne se plaint pas d'une gêne ou de manque d'accoutumance, la possibilité d'apparition de dommages n'est pas exclue.

### 3.6. Signification des ultra-sons

Dans la revue des ouvrages traitant ce sujet dans les domaines de la physique, de la physiologie et de la psychologie, on trouve peu d'indications sur les travaux concernant l'influence sur l'homme des ultra-sons quasi audibles. Les U.S.A. ont fait connaître des publications de Eldredge et Parrack entre autres sur le bruit des avions (turbines) dans lesquelles il n'est d'ailleurs fait rapport que des essais de hautes intensités dans le domaine du son et de l'ultra-son qui retentit. On peut supposer que les observations faites sur les effets des ultra-sons quasi audibles conduits par l'air l'ont été à proximité de statoréacteurs d'avions. D'après Staab, particulièrement auprès de statoréacteurs à pulsations apparaissent des niveaux de plus de 165 décibels. L'action sur l'homme consiste en maux de tête, engourdissements, et états semblables, conséquence du rayonnement d'ultra-sons. Calvet et d'autres rapportèrent qu'après 12 à 15 minutes de rayonnement d'ultra-sons dans une pièce insonorisée, une somnolence apparaît. Sur le plan critique, on peut se demander si cela n'est pas l'influence spécifique de la cabine insonorisée.

D'autres données ont moins de crédit, ainsi lorsqu'on rapporte (Rudolf en 1955 au sujet des essais sur les volontaires espagnols, cependant sans faire mention de la source exacte) que 28 hommes furent tués par l'action des ultra-sons et 52 plus ou moins fortement blessés. Des examens exacts ne furent jusqu'à présent faits vraisemblablement que sur des animaux avec de très hautes intensités et, dans la majorité des cas, de hautes fréquences qui sont du domaine du mégahertz.

D'autres essais se rapportent à la profondeur de pénétration des ondes ultrasoniques dans certains tissus ou sur l'énergie et la modification de chaleur dans et sur la surface de formations tissulaires. Que soient mentionnés ici les examens cités dans la conclusion de Goldstein en 1956. Là, également, n'ont été employées presque exclusivement que des fréquences au-dessus de 300 kilohertz.

Le domaine de 20 à 100 kilohertz très important pour l'industrie sidérurgique, n'a pratiquement pas encore été abordé expérimentalement. Il n'est donc pas étonnant qu'il n'existe jusqu'à présent aucun résultat de mesures prises dans ce domaine, si bien qu'il paraît prématuré de connaître les ordres de grandeur des intensités que rayonnent les machines et les turbines de l'in-

dustrie sidérurgique auprès desquelles des hommes doivent exercer leur profession.

Le petit nombre de mesures qui sont connues jusqu'à présent sont contradictoires. Ainsi, dans une autre domaine, Martin put, par exemple, mesurer pour un foret dentaire avec une turbine à air à 30 cm d'écart, 70 décibels pour 16 kilohertz, pour des installations de lavages munies d'ultra-sons, Rieckmann communiquait à 15 cm de distance pour 20 kilohertz une intensité de 120 décibels. Pour les moteurs d'avion et les turboréacteurs, Calver et d'autres purent à 80 m de distance dans le domaine entre 30 et 60 kilohertz prouver des intensités de 2 à 5 décibels. Il faut cependant indiquer que la perception de si petites intensités est très difficile sur le plan technique, car les microphones à condensateurs de grande valeur de Bruhelet Kjaer utilisés dans le commerce ne peuvent être employés dans le domaine donné qu'à partir de 64 décibels.

Des machines dans lesquelles oscillent de petites pièces, par exemple des chaînes avec de petits maillons, produisent des ultra-sons, cependant dans un domaine allant jusqu'à 40 kilohertz on ne peut s'attendre qu'à de petites intensités qui, en comparaison avec les intensités utilisées pour les traitements médicaux à ultra-sons, pourraient bien être de  $10^6$  inférieures. Il reste ainsi un travail urgent : relever systématiquement les bruits industriels dans le domaine des ultra-sons quasi audibles et mesurer aussi exactement que possible le champ acoustique du poste de travail. Ce n'est que lorsque les rapports exacts des ultra-sons auront été examinés que les essais de laboratoire sur l'homme auront un sens.



#### **4. Examens psychologiques et socio-psychologiques sous l'incidence du bruit**

##### **4.1. Altérations des fonctions visuelles sous les effets du bruit et leur importance quant à l'aptitude au travail et à la prévention des accidents**

Les examens qui ont été faits, concernant le problème des actions somatiques du bruit, ont montré que par les excitations acoustiques on provoque des réactions ergotropes ou sympathicotropes dans l'organisme humain. Une telle réaction sympathique est constatée facilement aussi à la pupille. Sous l'influence du bruit, comme il l'a été prouvé plusieurs fois, il intervient un élargissement de la pupille et une modification de la triade de convergence. Cette réaction a pour conséquence de troubler également la fonction visuelle dans son déroulement lors de l'action du bruit. Grignolo et Molfino ont essayé, pour cette raison, de saisir l'action du bruit sur des fonctions visuelles déterminées. Dans leurs recherches, encouragées par la C.E.C.A., les auteurs ont pu constater une série de résultats importants par des examens systématiques. Ainsi, par exemple, fut étudiée l'influence du bruit sur l'acuité visuelle de 40 personnes d'âge jeune. Ces personnes n'avaient jamais été auparavant soumises au bruit en dehors des bruits normaux qui existaient dans leurs villes. Dans leurs examens ophtalmologiques, Grignolo et Molfino remarquèrent que, chez les ouvriers travaillant dans le bruit, il existe un rétrécissement du champ visuel. C'est pourquoi ils s'occupèrent systématiquement de la question du rétrécissement du champ visuel en déterminant avec un périmètre de Goldman la largeur du champ visuel. Les examens furent réalisés de telle sorte que les essais dans le calme et les essais dans le bruit alternèrent. Le bruit fut très haut (entre 110 et 115 décibels). Les essais furent réalisés aussi bien sans influencer la pupille qu'avec un diamètre constant de la pupille (provoqué par des médicaments). Il est apparu que pour les pupilles non influencées par des médicaments, les diamètres s'élargissent sous l'action du bruit ; l'élargissement continue pendant l'excitation acoustique. Il ne fut cependant pas possible d'amener chez les personnes soumises à l'essai de modifications significatives du champ visuel. S'il est certain que les ouvriers travaillant dans le bruit montrent, après plusieurs années, un rétrécissement du champ visuel, on peut aussi tirer la conclusion des vérifications expérimentales négatives que seule une influence de longue durée conduit à un tel endommagement ou limitation fonctionnelle de l'homme.

Les examens de Grignolo et Molfino ont montré que les examens de laboratoire seuls ne suffisent pas pour obtenir une vue pénétrante des effets déterminés du bruit.

Le rétrécissement du champ visuel après un travail de plusieurs années dans une entreprise bruyante peut avoir une influence sur l'aptitude au travail

et aussi sur l'origine des accidents. Jusqu'alors, le pourcentage d'ouvriers qui montrent un rétrécissement du champ visuel n'est cependant pas connu. Pour la question de l'aptitude au travail et la prévention des accidents, un autre facteur joue un rôle décisif ; on se pose la question de savoir dans quelle mesure un ouvrier qui travaille dans le bruit, qui a un rétrécissement du champ visuel sans reconnaître celui-ci de manière consciente, compense ce manque fonctionnel physique par un effort accru et une attention plus soutenue. La même chose vaut aussi pour l'autre état mentionné plus haut d'élargissement de la pupille qui fut trouvé, en plus de Grignolo et Molfino, par d'autres chercheurs tels que Maugeri, Jansen, etc. S'il intervient une modification dans l'acuité de la vision en profondeur, ceci serait important pour tous les travailleurs qui ont à effectuer des travaux précis sous contrôle visuel, par exemple, les conducteurs de grues. Pour ces ouvriers également, une fonction physiologique est limitée et la question se pose à nouveau de savoir comment l'ouvrier concerné compense ce manque fonctionnel. S'il était possible de déterminer le degré de compensation ou le degré de manque fonctionnel, on pourrait avoir un point stable concernant la contrainte nerveuse exercée par le bruit.

#### 4.2. Les effets des bruits industriels sur l'attention

Dans la discussion de l'influence du bruit sur les fonctions visuelles, il a été dit que, par un effort accru, certaines pertes de fonctions chez l'homme, pertes dues au bruit, sont vraisemblablement compensées. Cela signifierait que l'ouvrier concerné apporte consciemment un accroissement d'attention et une élévation de sa concentration. Par des examens expérimentaux, il a déjà été reconnu antérieurement que certains travaux peuvent être influencés par le bruit. Ainsi, des tâches où est exigée la concentration, par exemple, des tests de calcul, ne sont pas influencées à dire vrai par un bruit continu, tandis qu'au contraire, un bruit discontinu provoque un rendement plus mauvais. D'autres examens, portant sur l'action sur les pertes psychomotrices, apportèrent des résultats analogues ; sous ce rapport, qu'il soit fait mention des examens de Stevens, Jansen et Hoffmann, entre autres. Dans d'autres rapports de Kryter, Newman, Broadbent et autres, on trouve des communications sur le comportement humain, spécialement le comportement humain au rendement. Les examens qui furent entrepris en ce qui concerne le problème de la vigilance (attention) sur le plan neurophysiologique et psychologique sont nombreux, mais ils ont trait presque exclusivement au domaine des recherches fondamentales. On n'a pas encore tenté de réaliser, spécialement pour les intérêts industriels, des recherches dans une assez large mesure pour faire ressortir la signification des troubles de l'attention conditionnés par le bruit et donc avoir en même temps le degré d'amoindrissement de la concentration. C'est pourquoi ces discussions dans le groupe de travail « bruit » à Luxembourg, qui s'occupait plus à fond du problème, furent d'autant plus importantes.

Il est connu que des appareils de protection auditifs changent la caractéristique d'un bruit parce que les fréquences sont amorties de manière plus ou moins forte. De ce fait, le bruit d'une machine obtient une autre caractéristique de fréquence en cas d'emploi d'appareils protecteurs de l'oreille. C'est souvent la raison du refus par les ouvriers de porter des appareils protecteurs. Selon les participants à la discussion, le refus n'est pas seulement conditionné par la sensation modifiée du bruit ; au contraire, l'attention est accrue et il peut se produire des tensions psychiques pouvant avoir un résultat négatif aussi bien sur le rendement que sur l'état de santé. Des considérations de cet ordre n'ont pas encore été retenues jusqu'à présent pour être le point de départ d'examen systématiques. La recherche de l'objet complexe suppose avant tout une connaissance précise du problème de la protection de l'ouïe. Pour cela, la seule connaissance des valeurs absorbantes des protecteurs de l'oreille ne suffit pas, il faut aussi celle de l'action psychologique. L'examen et l'appréciation des protecteurs de l'oreille ne sont cependant pas encore normalisés sur le plan international. Des ébauches de normalisation existent à l'heure actuelle avant tout aux U.S.A. et en Allemagne. Des essais pour la détermination du confort ont été réalisés en Allemagne. Les recherches dans ce domaine en sont encore à leurs débuts.

En ce qui concerne la modification de l'attention par les bruits industriels, on constate, si nous résumons, que des recherches plus approfondies dans ce domaine sont encore à faire. Ce qui intéresse avant tout, c'est le problème du type de bruit, donc de l'écoulement temporel du niveau acoustique pour l'attention et, en second lieu, le problème de l'influence des appareils protecteurs pour le rendement de concentration.

#### **4.3. Changement de poste de travail pour états audiométriques ou autres états cliniques**

Dans l'industrie, il y a peu de postes de travail dont les caractéristiques soient le calme. Même les bureaux de construction ou autres endroits où un travail de l'esprit doit être effectué, sont souvent à proximité immédiate des entreprises très bruyantes. Dans les salles de machines à écrire, dans les sections de mécanographie et dans beaucoup d'autres bureaux, on trouve des niveaux de bruit la plupart du temps au-dessus de 75 décibels et qui vont même jusqu'à 85 — 90 décibels. Ceux qui travaillent dans ces conditions se sont accoutumés au niveau de bruit. Les ouvriers, travaillant dans des halls de production dans lesquels existent en général d'assez hauts niveaux de bruit, se sont de même accoutumés au bruit. Même dans des entreprises avec un niveau extrêmement haut, par exemple, dans les services de polissage et ébarbage, les cimenteries, les forges, il arrive que les ouvriers ne portent pas d'appareils protecteurs de l'oreille, parce que, disent-ils, ils se sont habitués au bruit et qu'ils peuvent, sans appareil protecteur, mieux distinguer les éventuels signaux avertisseurs. La sensation de contrainte n'apparaît pas distinctement chez ces ouvriers parce que le bruit fait partie des conditions



de travail et l'idée prévaut qu'un changement de ce qui existe n'est pas possible.

Comme nous le savons par les recherches concernant le problème de l'hypoacousie et de l'action somatique, en dépit de cette accoutumance qui n'est valable que pour le domaine psychique, il se produit des modifications fonctionnelles objectivement prouvables et, en cas d'hypoacousie, des dommages organiques. S'il est prouvé avec les moyens qui sont à notre disposition qu'il se dessine un état maladif ou un trouble dans l'état de santé, les ouvriers concernés doivent être mutés de leur milieu bruyant dans un milieu moins sonore. Il s'ensuit souvent pour l'ouvrier une réduction considérable de son salaire. Le changement de poste de travail prend, sous cet aspect, une forme particulièrement sérieuse. Le médecin du travail, le psychologue d'usine et le chef d'entreprise ont une lourde responsabilité s'ils doivent décider, pour des raisons objectives, un changement de poste de travail. Il est donc d'autant plus important de pouvoir se fier aux méthodes de diagnostic qui président à la décision d'un changement de poste de travail.

En rapport avec ce problème, il apparaît donc indispensable d'examiner la validité et la fiabilité de l'audiométrie collective. Dans le groupe de travail « bruit », la question de l'audiométrie de groupe fut longuement discutée ; d'après les expériences communiquées, 4 personnes par heure peuvent tout au plus être prises par audiométrie individuelle, tandis qu'avec l'audiométrie de groupe, on peut mesurer l'acuité auditive chez 24 personnes par heure. Ainsi l'audiométrie de groupe épargne du temps. Il faut toutefois observer que la durée de la mesure audiométrique dépend de la concentration, de l'intelligence et d'autres facteurs chez le sujet. L'audiométrie de groupe n'est donc pas absolument simple ; avec l'audiométrie individuelle, il est parfaitement possible d'instruire le patient et de lui faire fournir, selon les instructions, les indications nécessaires dans la détermination du son.

L'exigence de ne soumettre à l'audiométrie que des gens reposés avant le début du travail ne peut être respectée que dans de rares cas. Dans les cas où cette exigence ne peut pas être remplie, Bonjer a, par exemple, toujours pratiqué l'audiométrie une demi-heure après la cessation du travail. On peut considérer que, pour les ouvriers qui travaillent depuis déjà de longues années dans le bruit, il n'y a pas de grandes différences entre la perte partielle, permanente et temporaire de l'ouïe. Pourtant il reste à considérer qu'aussi bien pour l'audiométrie de groupe que pour l'audiométrie individuelle, les résultats qu'on a obtenus durant le travail ne peuvent être invoqués pour le changement de poste de travail. Il est recommandé de s'en tenir strictement à l'exigence de ne faire un audiogramme de l'ouvrier exposé au bruit qu'après un très long arrêt, par exemple, après un congé.

Un examen spécifique des conséquences psychiques ou des effets sur le rendement du changement de poste de travail qui est résulté d'examen

audiométriques, n'a pas encore été effectué jusqu'à présent. Des discussions intervenues dans le groupe de travail « bruit », il résulte cependant qu'un tel examen serait utile.

S'il est déjà très difficile de décider un changement de poste de travail à la suite d'examens audiométriques, les difficultés ne sont pas moindres lorsqu'il s'agit de demander un changement de poste de travail pour des raisons fondées sur d'autres conséquences du bruit. Les recherches effectuées jusqu'à présent dans le domaine des effets somatiques du bruit n'ont pas encore permis de définir clairement une maladie due au bruit, abstraction faite de l'hypo-acousie. Il faut donc toujours examiner, dans chaque cas, s'il n'y a pas d'autres influences organiques qui sont décisives pour le changement de poste de travail.

La situation est toute différente lorsqu'un travailleur se plaint soudain d'un bruit intolérable à son lieu de travail, bien qu'il y travaille depuis de nombreuses années. Dans de tels cas, il est recommandé de faire pratiquer une anamnèse par le psychologue de l'usine, parce que, le plus souvent, d'autres problèmes (situations de conflit, etc.) sont en jeu. On peut naturellement penser que le seuil douloureux est dépassé dans l'un ou l'autre cas et que l'intolérabilité soudaine est due à la somme d'effets de bruit en-dessous du seuil. Dans un tel cas, l'ouvrier demande lui-même la plupart du temps à changer de poste de travail.

Il s'ensuit, en conclusion, qu'il est parfaitement possible de procéder à un changement de poste de travail à la suite d'examens audiométriques, alors que les effets somatiques du bruit n'exigent que dans des cas individuels un changement de poste de travail. En général, des facteurs psychologiques interviennent dans le désir de l'ouvrier de changer de poste de travail. L'échange d'expériences qui a eu lieu au sein du groupe de travail « bruit » sur ce problème a fourni de nombreuses et précieuses indications pour une étude future de ce domaine.

#### **4.4. Importance des contacts sociaux et des examens psychologiques portant sur des groupes de travailleurs exposés au bruit**

Des facteurs socio-psychologiques contribuent, dans une mesure non négligeable, à influencer le rendement. Les membres d'un groupe de travail voudraient bien se communiquer assez souvent des choses personnelles n'ayant pas de rapport avec le travail. Cette tendance à la communication peut être considérablement gênée par le bruit. Il peut en résulter du mécontentement ; les disputes, les pertes de temps ou d'autres conditions entraînées par le mécontentement portent préjudice à la productivité. Comme il fut déjà constaté lors de recherches antérieures encouragées par la C.E.C.A. (Jansen) on put constater dans les rapports sociaux beaucoup plus de troubles sur le lieu de travail et dans la famille chez des travailleurs exposés au bruit.

Sans vouloir approfondir les bases sociales scientifiques des recherches sur les groupes de travail, leur capacité de rendement et leur rendement, il faut rappeler qu'il n'existe pas dans tous les cas un rapport de dépendance entre l'intensité des communications entre les membres d'un groupe de travail, leur satisfaction aussi bien que leur moral au travail et leur rendement. Si la socio-psychologie et la sociologie ne sont pas encore parvenues à un résultat général à ce sujet, cela peut tenir du fait que beaucoup de facteurs d'ambiance, comme, par exemple, le bruit, n'ont pas été considérés.

A partir de cet état de fait, une recherche conduite par la T.N.O. et soutenue par la C.E.C.A., a eu pour objet d'examiner si des troubles peuvent intervenir dans les discussions en groupe, en considérant les bruits comme facteurs de gêne. Il fut posé aux groupes un problème actuel de sport ; il en résulta une discussion qui devait avoir lieu dans le bruit. Deux conditions de bruit furent créées, qui furent testées à l'aide d'une série de groupes d'examens : un bruit « intense » (10 décibels au-dessus du niveau sonore du langage de discussion), la compréhension était encore possible mais très troublée et un bruit « léger » (peu de décibels en-dessous du niveau du langage), la compréhension ne fut pas troublée. La discussion fut observée et évaluée d'après une série de catégories psychologiques et acoustiques, et surtout selon la forme et le contenu du mot parlé. Avant et après la discussion, il y avait des questionnaires à remplir et après la fin du test, on continua à poser des questions.

L'examen précité, qui a été expliqué de manière approfondie lors de l'échange d'expériences du groupe de travail « bruit » à Luxembourg, par van den Eijk, et mis en discussion, apporta de nombreuses suggestions. C'est ainsi que l'on proposa, par exemple, de choisir comme bruits d'essais au lieu des bruits neutres utilisés dans les essais des bruits riches d'information. L'accent fut mis sur les rapports sociaux entre chef et inférieurs et sur le facteur « temps » ; on pensait que l'on constaterait combien de temps il est possible de séjourner dans un milieu bruyant. On fit aussi observer qu'on parle automatiquement plus fort dans une pièce bruyante, mais qu'on ne sait pas encore exactement quels sont les niveaux moyens dans une pièce très silencieuse. Un exemple de ce problème en dehors de la pratique fut exposé. On sait que l'on peut toujours reconnaître en auto un déroulement caractéristique de la conversation. Au début du voyage, l'entretien est continu et vivant, puis plus le voyage dure longtemps et plus la conversation ralentit. Il faut en voir avant tout la cause dans le niveau sonore élevé en auto, qui atteint même dans les automobiles très silencieuses, 90 décibels et plus aux grandes vitesses. En dehors de ces réflexions de principe sur le problème précité, il faut encore indiquer que le rythme des mots et le contenu d'information d'une phrase est d'une signification essentielle pour savoir si un bruit peut perturber une conversation. De même, la rapidité de succession des mots est décisive. Sous ce rapport, il est, de plus, important que dans la discussion, les visages soient tournés les uns vers les autres ou non. La

multiplicité des objections et des pensées montrent qu'il y a, à côté de l'estimation psychologique de groupe, le facteur compréhension du langage, qu'on doit considérer. Les deux côtés de ce problème sont bien d'égale importance dans la pratique.

Si, par des examens de psychologie de groupe, on a apporté la preuve que des bruits d'une certaine intensité et selon une certaine succession produisent des perturbations dans les discussions en groupe, il n'y a pas d'examens, par contre, pour savoir dans quelle mesure on peut apporter des améliorations par l'organisation du travail, de telle sorte qu'on prend aussi en considération certains états audiométriques, cliniques ou physiologiques, un changement des postes de travail ou un changement de l'écoulement du matériel.

## 5. Effets physio-pathologiques des vibrations sur l'homme

Les recherches sur les effets des vibrations et des ébranlements sur l'homme prennent une signification croissante dans la médecine du travail et dans le domaine de la protection du travail. Disons tout d'abord que les résultats ne suffisent pas encore pour juger parfaitement, de manière valable et scientifique, l'effet des vibrations. Cela est dû au fait que l'organisme humain, d'un point de vue physique, est un système mécanique élastique très compliqué ; il est composé de masses, d'élasticité et de coefficients d'amortissement. Une localisation de la masse n'est pas toujours possible. Aussi parle-t-on dans beaucoup de cas d'une masse effective. Les élasticités sont très souvent à l'intérieur des masses, parfois aussi en dehors d'elles. Les coefficients d'amortissement ou les membres d'amortissement doivent être cherchés la plupart du temps à l'intérieur des élasticités. Si l'on fait agir, dans l'épreuve, des fréquences de 1 à 20 Hertz sur le corps humain, debout ou assis, en direction longitudinale, il apparaît que la résonance fondamentale du corps est de 5 Hertz. Une seconde résonance plus faible est à 10 Hertz et chez quelques hommes, il y a encore une troisième résonance encore plus faible, à environ 15 Hertz. On a souvent fait cependant en laboratoire l'expérience que le corps humain tout entier se comporte, dans une zone de fréquences allant jusqu'à environ 9 Hertz, presque comme un simple système d'amortissement masse-ressort, avec une fréquence propre d'environ 5 Hertz et un coefficient d'amortissement d'environ 0,3.

Un facteur important qui doit toujours être connu pour l'estimation de l'influence des vibrations est l'impédance mécanique de la partie du corps sur laquelle la vibration agit. On entend par là la résistance complexe de l'endroit où a été exercée l'influence, c'est-à-dire la mesure de transmission de l'énergie vibratoire sur l'organisme humain. Dans des examens sur l'homme en station debout, le système des jambes est d'une grande importance pour le facteur de transmission vibratoire et aussi pour l'effet des vibrations sur les autres systèmes organiques de l'homme. L'impédance peut naturellement changer par modification des conditions, par exemple, l'augmentation de la tension musculaire. Pour de faibles fréquences, une détente musculaire provoque, par exemple, une réduction de l'impédance, tandis que pour de plus hautes fréquences, une élévation de l'impédance est provoquée. On obtient des résultats tout autres par des changements de position, c'est-à-dire si on réalise les examens sur une personne qui est assise ou couchée au lieu d'être debout. Dans les recherches sur les vibrations on doit toujours indiquer dans quelles conditions (position, tension musculaire, fixation de la ceinture) on est parvenu à un résultat donné. Par exemple la courbe d'impédance montre, pour un homme couché, la résonance principale à 7 Hertz au lieu de 5 Hertz, comme pour l'homme debout ou assis.

Pour chercher où sont les résonances des organes particuliers, on introduit dans une mesure croissante dans les recherches vibratoires les méthodes de

graduation, donc des méthodes psychologiques. On interroge la personne soumise à l'expérience pour savoir dans quelles parties du corps apparaissent des douleurs ou d'autres sensations. Ainsi Coermann, par exemple, et d'autres chercheurs purent constater avec cette méthode que les grands organes mous de l'abdomen ont la plus grande résonance pour les fréquences basses. Ce résultat d'un examen subjectif fut confirmé objectivement par la mesure de la pression rectale. Par les examens de W. Lange et Coermann, il put être constaté que pour 4 Hertz à la colonne vertébrale entre les vertèbres lombaires, il y avait une résonance caractérisée, tandis que Krause trouva une deuxième résonance pour 20 — 30 Hertz. L'étendue était d'ailleurs très grande et dépendait de l'état de tension musculaire.

Les résultats obtenus jusqu'à présent des examens dans la recherche sur le bruit, montrent que l'accélération est la grandeur physique physiologiquement efficace. Mais à cause des effets de résonance, l'effet d'accélération dépend beaucoup de la fréquence. Pour une accélération vibratoire constante, la sensation vibratoire monte de 1 à 4 Hertz. Entre 4 et 10 Hertz, la sensation vibratoire est à peu près proportionnelle à l'accélération vibratoire pour diminuer ensuite fortement à partir de 10 Hertz et au delà. Dans d'autres examens, l'influence de la vibration fut vérifiée sur la fonction visuelle. Coermann et K.O. Lange constatèrent qu'une grande influence ne peut être obtenue qu'avec des fréquences au-dessus de 4 Hertz. De 4 à 10 Hertz, la diminution de l'acuité visuelle augmente pour une accélération vibratoire constante pour se stabiliser à peu près entre 10 et 20 Hertz. Après la suppression des vibrations, une partie des troubles visuels produits par des fréquences entre 4 et 10 Hertz persistent, tandis qu'après des vibrations de 10 Hertz, la faculté visuelle normale est aussitôt rétablie. Ce résultat inattendu est expliqué par Coermann qui dit que, entre 4 et 10 Hertz, il y a eu un authentique « stress », tandis que l'effet immédiat pour des fréquences assez hautes a une cause mécanique, à savoir le déplacement de l'image sur la rétine.

Des examens concernant la question de l'influence causée par les vibrations sur le rendement existent déjà dans un nombre assez restreint. Ainsi Coermann parle d'essais dans lesquels des personnes avec des yeux bandés devaient tenir en position verticale sur un siège vacillant de tous les côtés par contrepilotage. Le tout était monté sur une table secouée et vibrait avec différentes fréquences. La courbe obtenue après ces essais correspondait à la courbe de résonance du corps humain. Lorsqu'une très forte volonté était mise en jeu, il était d'ailleurs possible de compenser l'influence causée par les vibrations sur les performances. En moyenne cependant, on ne pouvait obtenir d'autres résultats.

Les résultats décrits jusqu'à présent et les conclusions dégagées sont basés sur des recherches réalisées avec des oscillations sinusoïdales. Si l'on considère maintenant les vibrations survenant dans la pratique, on voit qu'il



n'existe pour ainsi dire pas d'oscillations sinusoïdales pures. Bien plus, les vibrations survenant dans les voitures se composent de mouvements stochastiques avec des coups isolés. Pour les véhicules de transport des entreprises industrielles la part d'énergie principale des ébranlements est dans une zone de fréquences entre 0,5 et à peu près 15 Hertz, avec un maximum caractérisé entre 3 et 6 Hertz et pour les voitures particulières, au contraire, le maximum est plus bas, entre 1 et 4 Hertz. La grandeur des accélérations de pointe dans ces véhicules est, dans des conditions normales, en dessous de  $3 \text{ m/sec}^2$ . Pour les tracteurs agricoles et les lourdes machines de terrassement, des pointes fréquentes jusqu'à  $10 \text{ m/sec}^2$  (à peu près 1 g) peuvent se produire. Coermann put cependant prouver mathématiquement que la courbe de tolérance aux saccades pouvait être déduite de la courbe de tolérance aux vibrations, si bien que les examens avec les oscillations sinusoïdales purent, d'une certaine manière, trouver leur utilisation comme modèle approchant pour les charges se présentant dans la pratique. D'après les résultats connus, on a déjà essayé d'apprécier les valeurs limites ou les valeurs directrices pour les contraintes dues aux vibrations. Mentionnons ici les directives du VDI, publiées en Allemagne, N° 2057 « Étude de l'effet des vibrations mécaniques sur l'homme ». Une analyse critique de ces propositions montre toutefois que les résultats des recherches ne suffisent pas encore pour déduire des examens des valeurs directrices définitives et généralement valables. Cela signifie que des recherches approfondies restent à faire dans ce domaine. Cette conception fut nettement confirmée lors des discussions du groupe de travail « bruit » dans les sessions à Luxembourg. Ainsi, par exemple, on discuta de manière détaillée afin de savoir pourquoi l'accélération joue un grand rôle dans les recherches sur les vibrations et non la rapidité ou l'amplitude. Il faut constater que l'homme ne peut percevoir que l'accélération ; par exemple, on n'est pas conscient de la rapidité de la révolution de la terre. Des phénomènes semblables existent aussi dans l'acoustique ; pour les bruits nous ne réagissons de même qu'à la pression ou aux variations de pression, ce qui correspond en physique mathématique à l'accélération.

Un important résultat des examens expérimentaux est que des animaux qui furent tués par secousses, sont morts le plus souvent par hémorragie dans le système pulmonaire. Une des causes principales qui provoqua la mort fut la rupture des artères pulmonaires. La mort n'est pas provoquée, comme on le suppose souvent, par des lésions dans le système nerveux central, car celui-ci est enveloppé dans du liquide ; par contre, les poumons sont remplis d'air. On peut en voir la preuve dans le fait que les poissons ne sont pas tués par des effets vibratoires, si forts soient-ils. Une autre preuve a été apportée expérimentalement par le fait que des souris gravides furent tuées par des secousses, mais que les embryons libérés par césarienne, aussitôt après la mort de la mère, vivaient encore.

Pour précieux que soient ces examens, ils n'ont pu cependant mettre à découvert, jusqu'à présent, un grand nombre de faits dans la recherche des

causes d'accidents. Les examens encouragés par la Haute Autorité de la C.E.C.A. prennent de ce fait une signification exceptionnelle.

### 5.1. Études d'électro-encéphalographie dans les effets de vibrations

Dans plusieurs séries d'examens, Sacerdote put observer les influences des vibrations sur l'électro-encéphalogramme (EEG) et les démontrer de manière absolue. Sacerdote appliqua des fréquences vibratoires continues de 0 à 25 Hertz environ. Dans les nombreuses vérifications effectuées, il est apparu que les vibrations, chez un grand nombre de personnes, déclenchent une élévation et une synchronisation des ondes alpha à l'intérieur de limites relativement larges. Il constata en particulier que les enregistrements encéphalographiques synchrones montrèrent à peu près à partir de 7 Hertz, les premières réactions sous forme de synchronisations. A environ 13 Hertz, ces réactions s'arrêtèrent et ne revinrent plus. Également, pour une chute continue des fréquences de 25 à 0 Hertz, on remarqua les mêmes réactions dans le domaine de 13 à 7 Hertz. Dans d'autres examens de contrôle, on appliqua des fréquences de propre convenance pour faire des essais ; mais on trouva toujours que le domaine de 7 à 13 Hertz incite à la synchronisation.

Dans le domaine optique, des résultats sont connus qui ont une similitude formelle avec ces faits et qui furent trouvés chez des personnes qui, d'après un examen clinique grossier, avaient une bonne ouïe. Ainsi Margaria, Coppée et d'autres, purent rapporter que l'apparition de réactions à 10 Hertz n'a rien d'aussi étonnant qu'il peut paraître au premier abord. Des impulsions lumineuses avec une fréquence de 10 Hertz déclenchent également des rythmes alpha. Nous constatons donc aussi, dans le domaine optique, le phénomène de synchronisation. Pour des excitations auditives intermittentes entre 8 et 12 Hertz, on put remarquer de même des phénomènes de synchronisation. Ces faits pourraient être d'une très grande importance pour la recherche fondamentale. La synchronisation, dans les essais acoustiques conditionnés par les vibrations, prouve que la transformation de l'excitation sensorielle se produit dans l'organe statique. Si maintenant ce phénomène de synchronisation intervient également dans le domaine optique, cela conduit à penser qu'un phénomène sensoriel intégrateur englobant plusieurs sens se produit dans l'organisme humain. Licklider a déjà conclu en ce sens (Théorie du triplex et « périodicité »).

Comme Sacerdote l'a rapporté dans ses examens, il remarqua que quelques personnes soumises à l'expérience accusaient une somnolence avec 10 à 12 Hertz. D'autre part, d'autres observations indiquent que des vibrations dans ce domaine peuvent provoquer des dépressions chez les travailleurs. Cette question est en rapport étroit avec l'appréciation du rendement et l'estimation de l'origine des accidents. Il ne doit pas être inintéressant de mentionner que les personnes indiquèrent que, dans les épreuves entre 10 et 12 Hertz avec les yeux fermés, elles perçurent des points noirs.



Des mesures de l'impédance décrites au début, il ressort que la résonance corporelle est à peu près de 5 Hertz. Ceci permet de penser qu'il n'y a vraisemblablement pas ici de phénomène conditionné par la résonance, mais qu'il s'agit plutôt d'un effet physiologique que physique. Il serait à vérifier s'il existe un rythme physiologique de 10 Hertz observables dans les cellules, les muscles ou d'autres tissus.

Pour plus ample clarification de cette question et de questions analogues Sacerdote avait inclus dans son travail de recherche le traitement des appareils de mesures électro-encéphalographiques. Il réussit à construire un appareil dans lequel sont incorporés des filtres qui permettent une sélection des basses fréquences de telle sorte que celles-ci peuvent être maintenant mieux saisies et analysées. Les filtres traditionnels sont lourds, chers et peu précis, tandis que les nouveaux « filtres activés » sont entièrement transistorisés. Ils sont en mesure de filtrer de petites zones, par exemple de 9 à 11 Hertz. En ce qui concerne le prix et la taille, les nouveaux « filtres activés » présentent des avantages essentiels. Un autre appareil fut construit par Sacerdote, qui permet l'enregistrement continu des variations de fréquence dans le domaine de basses fréquences. Un nouvel instrument est ainsi donné à la médecine du travail pour obtenir des résultats décisifs pour cet important problème.

En dehors de ces examens, Sacerdote enregistra également des variations de la voix, apparues sous l'influence de hautes accélérations en cas d'effets vibratoires. Dans ces examens, fut comprise également l'influence des vibrations sur la compréhension du langage. Sacerdote observa que les variations de la voix se rapportent aussi bien à l'amplitude qu'à la fréquence. Cela est vraisemblablement dû aux influences vibratoires sur les cordes vocales, car, pour une voix très douce, ces variations n'apparaissent pas. D'autre part, les variations paraissent se produire particulièrement nettement dans quelques fréquences du langage, par exemple, 650 Hertz. Pour les voyelles, des effets particulièrement forts furent provoqués par la fréquence vibratoire dans le domaine compris entre 20 et 30 Hertz. Aussi dans cette matière, d'autres recherches qui sont à considérer comme la suite de celles qui sont communiquées ici, seraient à faire ; il est fréquent que des transmissions d'information par le langage soient troublées par des influences vibratoires et le bruit.

## **5.2. Études radiologiques et cliniques concernant la contrainte vibratoire de l'homme**

Si l'on considère la contrainte vibratoire de l'homme sous l'aspect clinique, on reconnaît alors que deux sortes de maladies peuvent apparaître. Dans l'utilisation d'outils vibrants (par exemple, le burin à air comprimé), l'action de micro-rêves se fait sentir qui peuvent, par exemple, conduire à des arthropathies. Il y a aussi des maladies provoquées par des vibrations de basses fréquences (à peu près 0,1 - 2 Hertz) ; ce sont les cinétoses qui peuvent se

produire lors d'effets prolongés chez beaucoup d'hommes. Pour la médecine du travail, en général, les actions directes sont d'une plus grande importance que les charges de basses fréquences, auxquelles revient une signification particulière dans la médecine courante. L'apparition rapide d'une certaine maladie et des fondements précis sur l'état de santé avant le début du travail soumis aux vibrations, peuvent montrer dans la plupart des cas le rapport causal qui existe entre maladie et activité dans le travail. On voit par ces indications qu'il est important de prendre des mesures préventives pour empêcher la maladie professionnelle.

Les mesures médicales de prévention s'étendent tout d'abord sur le choix professionnel. Ainsi sont pratiquées régulièrement des études radiographiques lors de l'embauche chez Italsider à Gênes. On procède de telle sorte que la colonne vertébrale soit radiographiée dans deux projections. C'est le but de ces projections de trier particulièrement ceux qui sont atteints de scoliose pour pouvoir parer de prime abord à d'éventuels dommages. Si une scoliose constitue une contre-indication formelle pour l'embauche dans une entreprise où il y a des vibrations, les ouvriers ayant des calculs aux reins ou au pancréas ainsi que ceux souffrant des inflammations d'estomac ou de l'intestin avec colite, ou de descente d'organes ou encore ayant une faible musculature, doivent être écartés de l'emploi considéré comme peu aptes ou inaptes.

Cela démontre que les études radiologiques doivent être regardées comme une méthode de médecine prophylactique. Quand bien même aucun examen de médecine du travail n'ait été réalisé jusqu'à présent dans le domaine radiologique, l'échange d'expériences dans ce domaine fut précieux pour les membres du groupe de travail « bruit » de la C.E.C.A. et a fourni de nombreuses suggestions pour la médecine prophylactique.

Mais, non seulement les études radiologiques devraient être considérées pour décider si un travailleur est à sa place dans un lieu de travail où il y a des vibrations. Les connaissances acquises à ce jour des effets physio-pathologiques sur d'autres systèmes fonctionnels de l'organisme devraient également être prises en considération lors de l'affectation à un emploi. La médecine du travail connaît une série de troubles fonctionnels qui peuvent être mis en rapport direct ou indirect avec la charge vibratoire. Plusieurs auteurs ont communiqué que, chez des ouvriers sans cesse exposés à des vibrations, on remarque une légère hypertonie. Il n'y a pas encore d'examen expérimentaux concernant cette question, il faut cependant considérer que le système cardio-vasculaire est influencé de manière plus ou moins grande par les vibrations. Dans les examens électro-cardiographiques qui furent faits au moment même de charges de vibration maximales et après, aucune modification ne put être prouvée. Par contre, des variations de la pression artérielle furent observées pendant et après la vibration. Malheureusement, les résultats de chaque chercheur ne correspondent pas toujours ; cela tient vraisemblablement au fait que la capacité de réactions neuro-végétatives est

différente selon les individus. Dans le travail avec des appareils vibratoires, des réactions angiospastiques ont été constatées de manière incontestable. Les modifications d'abord fonctionnelles puis organiques concordent avec l'hypothèse faite par les différents auteurs, d'après laquelle, pendant l'action de la vibration une contraction des vaisseaux a lieu par excitation des fibres musculaires lisses, comme lorsque s'exercent des influences bruyantes. Sur les troubles fonctionnels de l'appareil digestif qui sont provoqués par des charges vibratoires, on a une série d'observations concordantes. Très souvent, il y a des ulcères d'estomac et de l'intestin, mais aussi des colites dyskinétiques, des infections de la vésicule biliaire avec ou sans calculs et aussi des ptoses stomacales et intestinales. Presque tous les auteurs qui parlent de telles transformations fonctionnelles mentionnent la possibilité de pouvoir rapporter ces maladies à l'absorption irrégulière des repas, en particulier chez les ouvriers transporteurs. De plus, il existe aussi la possibilité que de tels troubles puissent être provoqués par tension nerveuse ou par la posture. Des observations radiologiques faites à Gênes par Molfino et Zanini permettent de conclure que des modifications de la péristaltique sont déclenchées par des vibrations.

Par différentes recherches et observations cliniques, on a constaté également des modifications dans le système uropoïétique. On rapporte qu'un pourcentage accru de calculs rénaux est prouvé chez des travailleurs qui sont exposés depuis un certain temps aux vibrations, par exemple chez les conducteurs de véhicules à moteur. Il ne peut être nié qu'une action pour le moins prédisposante revient aux vibrations dans ce genre de troubles de la santé. Naturellement, la posture peut aussi influencer ; dans ce cas, il y aurait un motif impérieux de tenir particulièrement compte des possibilités de s'asseoir dans les endroits où il y a des contraintes de vibrations.

D'une importance particulière est aussi l'influence de l'ensemble du système nerveux végétatif dans le cas de contrainte de vibration. On rappellera non seulement l'apparition des cinétoses mentionnées plus haut dans les moyens de transport, mais aussi les différentes fonctions psychomotrices et les opérations mentales que comportent les processus de travail. D'autres fonctions qui supposent une activité normale des voies végétatives sont aussi affectées. Une étude complète du système nerveux végétatif et central ne peut être fournie que par des recherches spéciales, comme, par exemple, les examens électro-encéphalographiques dont on a déjà parlé en détail au chapitre précédent.

Les effets possibles des vibrations sur les organes des sens doivent également être mentionnés. Qu'on pense particulièrement aux dommages du cochléaire par la transmission d'excitations de basses fréquences sonores ou infra-sonores qui sont conduites par les os. Qu'on pense également aux troubles de la vue ; on constate une diminution de l'acuité visuelle pour des fréquences de vibration de 20 à 30 Hertz et de 60 à 90 Hertz. Ces changements fonctionnels

doivent être imputés vraisemblablement à des phénomènes de résonance des globes oculaires.

Molfino et Zanini ont encore présenté une série de résultats d'expérience, de contenu physio-pathologique, et ils ont essayé de déceler la corrélation existant entre certaines contraintes vibratoires et certaines maladies. On peut concevoir ces examens encouragés par la C.E.C.A. comme des études préliminaires, qui devraient servir à étudier avec une méthodologie correcte un plus large ensemble de données. Les auteurs travaillent sur le plan expérimental et sur le plan pratique, à mettre en évidence une corrélation entre expérience pratique et travail de laboratoire. A mentionner ici particulièrement le rapport détaillé de ces travaux par Zanini.

### **5.3. Facteurs constitutionnels dans la genèse des maladies causées par les vibrations**

Des chercheurs de l'organisation italienne E.N.P.I. (Ente nazionale di Prevenzione degli Infortuni), en particulier Zazo et Maggio, se sont occupés, ces dernières années, à la demande de la C.E.C.A. des facteurs constitutionnels et de la technopathie des maladies d'origine vibratoire. Les recherches commencèrent par une étude de la bibliographie de ces vingt dernières années. De l'étude des ouvrages, il ressortit clairement que la situation primitive de l'homme sur le plan neuro-végétatif est décisive pour l'origine des troubles de la santé causés par les vibrations. A la lumière de cette constatation, un examen médical fut commencé, lequel devait montrer s'il existe des signes et symptômes permettant de conclure que certains individus sont prédisposés à des technopathies causées par les vibrations.

La réalisation pratique s'étendit à l'examen anamnestique et clinique de 405 personnes qui étaient obligées de travailler depuis longtemps avec des outils vibrants, dans des industries des métaux, d'un poids de 3 à 8 kg et de différentes formes ; en majeure partie il s'agissait d'outils à air comprimé. Les ouvriers examinés étaient occupés depuis plusieurs années au même endroit, cas extrême depuis 40 ans. L'âge des personnes examinées variait entre 16 et 65 ans, mais était en moyenne de 40 ans. Toutes furent soumises à un examen précis anamnestique et clinique selon lequel elles furent séparées en deux groupes. Le premier groupe de 212 personnes (à peu près 52 %) montrait déjà des signes cliniques dont l'origine était l'influence vibratoire, ce qui se manifestait particulièrement dans le comportement des vaisseaux. Le deuxième groupe de 193 personnes (48 %) ne montrait, au contraire, aucune sorte d'atteinte ayant les vibrations pour origine. Anamnèse et examen clinique furent réalisés par différents médecins dans différentes parties de l'Italie. Mais les questionnaires d'examen avec les réponses et les rapports furent vérifiés et exploités par l'E.N.P.I. Les médecins qui travaillèrent sur les résultats ne connaissaient pas les maladies ni aucune donnée concernant les personnes soumises à l'expérience.

A partir des résultats de l'examen, on peut lire que chez chaque personne du groupe « technopathique », 4,87 réponses « positives » furent données, qui indiquaient des troubles de la santé ; dans le groupe « en bonne santé », on arriva, par contre, à 1,23 réponses positives. Si l'on considère les résultats séparément d'après l'âge du travail, il résulte une répartition suggestive.

Dans les dix premières années, on constate, année par année et pour les années suivantes tous les cinq ans, des troubles croissants de la santé. Le résultat des réponses positives est entre 3 et 6,56 chez les malades technopathes et entre 0,86 et 2,27 chez les personnes sans technopathie. La somme des réponses enregistrées montre que 44 % des personnes examinées sans technopathie n'ont pas donné de réponses positives, tandis que 1,42 % seulement du groupe avec technopathie ne donnèrent pas de réponses positives. Si l'on considère les personnes avec plus de 8 et jusqu'à 16 réponses positives, on voit que ce sont toutes des personnes avec technopathie ; pour des personnes ayant donné entre 2 et 8 réponses, le pourcentage dans le groupe des technopathies est également encore plus élevé que dans le groupe sans technopathies. Le pourcentage pour les personnes sans réponses positives ou avec seulement un symptôme est dans le groupe sans technopathies à 18,3 % pour 10,85 % dans le groupe avec technopathies.

Également, dans le genre et la qualité des réponses positives, il est clair que se manifeste dans les deux groupes un comportement différent en face des troubles de santé conditionnés par la profession. Dans le domaine expérimental, on essaya, à l'aide du comportement du pouls, de la pression artérielle et des changements électro-cardiographiques dans les essais orthostatiques de déterminer les situations anamnestiques chez les personnes avec technopathies et dans un groupe de personnes témoins.

Les chercheurs italiens, d'après leurs examens, arrivent à conclure, de par leurs interprétations des résultats, qu'il y a une série de facteurs constitutionnels qui peuvent être importants pour l'apparition de maladies d'origine vibratoire. Le devoir de la médecine prophylactique doit donc être d'accroître ses efforts dans ce domaine, afin d'obtenir une image complète des dommages possibles causés par vibrations. Il n'est pourtant pas suffisant de travailler seulement dans le domaine somatique ; il est aussi nécessaire de considérer la structure psychique de l'homme sous l'angle de la contrainte vibratoire. Cela est particulièrement manifeste dans l'influence exercée sur le rendement. Comme il l'a été décrit précédemment, la courbe de rendement correspond assez bien à la courbe de résonance. Par une influence psychique correspondante, il put être montré expérimentalement que les influences de la volonté pouvaient modifier la courbe de rendement dans le sens d'une compensation. Pour les études futures, l'examen de l'aspect psychologique s'avérera donc sans doute indispensable.

#### 5.4. La prévention médicale des affections causées par les vibrations

Des considérations exposées jusqu'à présent, il ressort que la médecine du travail se voit en face de problèmes très complexes sur le plan physique et biologique en ce qui concerne les contraintes vibratoires. L'explication de ces problèmes — selon la description faite dans les précédents chapitres — a fait déjà, à l'heure actuelle, d'assez grands progrès. Les connaissances acquises ont constitué la base d'autres recherches physio-pathologiques et cliniques, en particulier des examens de pathologie organique relativement peu pratiqués jusqu'à présent. Cela tient notamment au fait qu'on accède difficilement aux organes internes du corps humain pour l'observation et la recherche instrumentale. Les progrès réalisés dans ce domaine de la psychologie appliquée et des aspects cliniques peuvent cependant donner une image objective sur l'usure, résultant d'une atteinte de longue durée de nature mécanique, et ainsi fournir des indications sur l'influence de ces efforts du point de vue de la pathologie générale.

Pour la pratique, en particulier pour le médecin du travail dans l'industrie sidérurgique, mais aussi pour le chercheur, il est à recommander d'établir un relevé concernant les situations ou les machines susceptibles de vibrations transmissibles à l'homme.

##### 1) *Engins de levage et de transport se déplaçant sur rails*

1. Ponts roulants des aciéries, laminoirs et ateliers. L'intensité des vibrations dépend de la construction (charpente ou avec poutre pleine) et des chemins de roulement (béton ou métal).
2. Grues sur rails (Demag).

##### 2) *Engins automobiles de levage et de transport*

Toutes sortes de grues, qui sont pratiquement utilisées sur tout le terrain de l'entreprise (sortes : Hysters, grues à chaînes Demag, Koering, Rapiet, Link, Belt, Belotti, Lorain, etc.).

##### 3) *Engins de levage et de transport utilisés pratiquement dans toute l'usine pour des travaux spéciaux*

1. Excavateurs (Fiorentini, caterpillars, pelles mécaniques Bray, pelles mécaniques Eimco).
2. Empileurs.

##### 4) *Machines de traction pour chemins de fer*

Locomotives à vapeur, électriques et diesel, et pour le trafic routier : tracteurs, camions.

### 5) Installations stables

1. Marteau concasseur pour la préparation du minerai,
2. Moulins concasseurs pour la préparation de la houille,
3. Trains de laminoirs (bloomings, trains dégrossisseurs, trains réversibles, laminoirs finisseurs),
4. Salles des machines des trains de laminoirs,
5. Vibrotamis pour la préparation du minerai et du charbon.

Le médecin du travail devrait exiger des renseignements exacts des techniciens pour savoir quels domaines de fréquence et quelles accélérations sont à attendre dans un nouveau poste de travail à installer.

Comme il ressort des chapitres précédents, on a pu constater qu'un des phénomènes les plus intéressants au point de vue physiologique et biologique est la résonance. La résonance dépend des différents facteurs et peut être prise comme paramètre pour l'examen des effets biologiques. Des examens il ressort que la tolérance de l'homme aux vibrations et l'action de ces vibrations sur des organes et systèmes isolés révèlent des points ou des pointes qui sont caractéristiques de certaines fréquences. Reprenons encore une fois les fréquences de résonance de l'organisme humain et animal par fréquences croissantes.

**Tableau des fréquences de résonance pour l'organisme humain et animal, rangées d'après les valeurs en Hertz (cycles par seconde)**

- 0 - 2 Pour des vibrations dans le sens longitudinal, le corps se comporte comme une masse d'un seul tenant, sans résonance.
- 1 - 2 Dyspnée chez l'homme à la suite de vibrations longitudinales.
- 1 - 3 Ces fréquences comprennent toutes les résonances à la suite de vibrations dans la direction sagittale.
- 1 - 27 La résonance s'élève, avec l'accroissement de la fréquence, des parties basses jusqu'aux parties supérieures du corps (Parks).
- 2,5 Résonance des artères pulmonaires chez les chiens (Randall et Stacy, Yanof et Stacy).
- 3 Résonance des artères des membres postérieurs chez les chiens (Randall et Stacy, Yanof et Stacy).
- 3 - 3,5 Résonance maximale chez l'homme en position couchée sur une table qui vibre dans le sens de l'axe longitudinal.  
Résonance maximale des organes du thorax et du bas-ventre en position debout, lorsque la musculature du ventre est détendue (Coermann).

- 3 - 4 Incommodations abdominales maximales (avec maximum à 7 cycles par seconde).
- 3 - 10 Incommodations maximales du thorax.
- 4 Résonances maximales chez l'homme à la suite de vibrations longitudinales (Radke).
- 4 - 6 Résonance maximale chez l'homme en position assise à la suite de vibrations longitudinales (Rieckmann et Coermann).  
Résonance maximale chez l'homme en position debout à la suite de vibrations longitudinales (Rieckmann et Coermann).
- 4 - 8 Sensibilité maximale aux vibrations chez l'homme (Ziegenrucker et Magid, Rieckmann).
- 5 - 10 Pour une accélération de quelques dixièmes de g, chute de la teneur en acide ascorbique dans les capsules surrénales de rats (Vollmer et Goldman).
- 5,6 - 7 (cf. 3 cycles par seconde). Pointe de résonance plus éloignée dans les artères (Randall et Stacy, Yanof et Stacy).
- 6 - 7 (cf. 2,5 cycles par seconde). Pointe de résonance plus éloignée dans les artères pulmonaires chez les chiens (Randall et Stacy, Yanof et Stacy).
- 6 - 10 Incommodations abdominales maximales.
- 9 Résonance maximale chez l'homme couché sur une table qui vibre en direction de l'axe longitudinal (cf. 3 - 3,5 cycles par seconde), cependant que les pieds et les épaules sont attachés à la table (von Wittern).
- 10 En dehors de cette fréquence, diminution des amplitudes du mouvement qui doit être accompli (von Békésy, Coermann).
- 10 - 14 Pointe plus éloignée de la résonance maximale chez l'homme en station debout à la suite de vibrations longitudinales.
- 12 - 17 Mortalité maximale chez les souris à la suite de vibrations longitudinales (Roman).
- 20 - 25 Avec une accélération de 6 g, présence de sang dans les selles de l'homme (White).
- 20 - 30 Résonance maximale de la tête sans compter l'acuité visuelle.
- 25 Mortalité maximale des souris à la suite de vibrations à l'horizontale (Roman).
- 31 Changement du cercle apical dans le cochléaire chez les souris (Popow).
- 30 - 90 Diminution de l'acuité visuelle, vraisemblablement à la suite de la résonance de la pupille (Coermann).

En dépit d'un grand nombre d'observations, les résultats concernant la tolérance de l'homme en face de la fréquence des vibrations diffèrent assez les uns des autres, mais ceci est causé ou bien par les conditions de l'essai (importants sont : la position, les caractères distinctifs des sièges, la sollicitation du corps obtenue de manière artificielle lors du dispositif de vibration) ou par l'amplitude et l'accélération.



Des examens des pointes de résonance on déduit le principe que la fréquence de résonance optimale est inversement proportionnelle à la masse chez les animaux et dans le corps humain ou ses parties et que, de plus, quelques effets de résonance se répètent pour les valeurs multiples des plus basses fréquences pour lesquelles ils furent observés.



## RÉSUMÉ

Dans les entreprises bruyantes, le problème de la protection contre les accidents du travail et de l'organisation du travail a pris une importance particulière. Il n'est pas rare que des bruits de forte intensité restreignent les possibilités de communication à tel point, qu'il en résulte des malentendus se traduisant par des accidents ou par des rendements insuffisants.

C'est pourquoi on s'est occupé très tôt du problème de la compréhension de la parole dans les entreprises bruyantes, en s'efforçant de trouver des critères d'appréciation. Le plus répandu en est le « SIL » (speech interference level). Il se définit comme la moyenne arithmétique des intensités, exprimées en db, dans les octaves 600 — 1.200 Hz, 1.200 — 2.400 Hz, 2.400 — 4.000 Hz. Lorsque la pression sonore, dans la bande octave 300 — 600 Hz, dépasse de plus de 10 db la pression existant entre 600 et 1.200 Hz, cette valeur est également incluse dans le calcul de la moyenne arithmétique. Pour obtenir une bonne compréhension de la parole, son intensité sonore doit dépasser le SIL de 12 db. Lorsque la pression sonore de la parole est inférieure de 10 db au seuil de perturbation, les syllabes ne sont plus comprises qu'à raison de 5 %. Cela signifie qu'il n'est plus possible de distinguer les phrases ou de comprendre leur sens.

Aussi raisonnable et aussi utile que soit pareil critère d'appréciation dans la pratique, et aussi nombreux que soient les services qu'il ait rendus, il n'en faut pas moins formuler toute une série d'objections à l'encontre de l'idée qu'il puisse s'appliquer à tous les cas possibles. La mélodie, le rythme, l'harmonie et le débit de la parole, le niveau phonétique ainsi que d'autres facteurs peuvent améliorer ou, au contraire, rendre plus difficile la compréhension de la parole, de telle sorte que le SIL est parfois un critère insuffisant pour apprécier les conditions réelles. Indépendamment de ces facteurs humains, la composition des bruits joue, elle aussi, un rôle important dans la compréhension de la parole. Le SIL est prévu, en premier lieu, pour des bruits continus, non interrompus, alors que les bruits discontinus, en raison des tensions intrapsychiques qu'ils provoquent, rendent souvent plus difficile la compréhension de la parole ; à l'occasion toutefois, ils parviennent à l'améliorer. Comme l'ont montré les études de Gavini, il est possible de modifier la perception subjective de la hauteur des sons en produisant une suite rapide de bruits d'intensités différentes, c'est-à-dire un bruit périodique dont les intervalles sont très courts. Ainsi un son de 8.000 Hz, présenté avec

une fréquence de 800 Hz, conduit à une perception de hauteur de 800 Hz, indépendamment de sa pression sonore absolue. De ces études, poursuivies au Centre national de la recherche scientifique de Marseille, on peut déduire, sous toute réserve, que la perception du caractère grave ou aigu des sons n'est pas fonction de leur hauteur absolue, mais plutôt du nombre d'inter-ruptions par seconde. Les recherches passées n'ayant porté que sur des sons sinusoïdaux, il serait utile de recourir pour les tests à des bruits à bandes de fréquences larges ou étroites.

La compréhension de la parole doit être rigoureusement distinguée de ce qu'on appelle son audibilité. Dans la première, en plus de l'audibilité de la parole, l'intelligence, le pouvoir de combinaison et l'aptitude à comprendre une situation donnée jouent un rôle décisif. En otologie, on sait depuis longtemps que la zone de la parole n'est pas touchée lorsque la courbe d'hypoacousie du patient se situe au-dessus de la ligne audiométrique 30 db. Il s'ensuit que les personnes appartenant à cette catégorie ne subissent aucune entrave sur le plan social, que leur rendement au travail est parfaitement normal et qu'elles doivent être considérées comme des travailleurs normaux. Elles comprennent un langage de conversation aussi bien que les différentes langues de communication, qui permettent une compréhension par l'intermédiaire de codes ou de listes de mots déterminés. Si, au contraire, l'hypoacousie est telle que la courbe audiométrique est située en-dessous de la ligne 80 db de la courbe du seuil auditif, il n'est plus possible, en règle générale, de distinguer les phonèmes d'une conversation. Pour pouvoir comprendre la parole, il faut se placer près du patient. Aussi une audibilité intacte de la parole est-elle indispensable pour la compréhension de celle-ci ; autrement dit : il est nécessaire d'avoir des idées précises quant à l'audibilité de la parole pour pouvoir apprécier si elle peut encore être comprise. En plus du fait que le champ de la parole humaine est situé entre 200 et 3.000 Hz, il est également important de connaître la composition de la parole phonétique. C'est pourquoi Koopmans et d'autres chercheurs ont analysé la composition de la parole phonétique et déterminé des « zones de fréquences » par un procédé dit de filtration de la parole.

Dans le cadre d'une étude à grande échelle, les effets de la surdité consécutive aux bruits industriels sur l'audibilité de la parole ont été mis en relief. A cet effet, les sujets ont été divisés en quatre catégories, en fonction de leur degré de surdité ainsi que de leur réaction aux tests d'audibilité de la parole. Cela signifie que les limites indiquées en otologie font l'objet d'une différenciation encore plus poussée. En ce qui concerne le travail dans les entreprises bruyantes, ces recherches comportent le grand avantage de permettre de mieux contrôler, en matière d'organisation du travail, l'affectation des ouvriers à certains endroits particulièrement bruyants.

Il ne suffit pas de connaître l'audibilité phonétique par rapport à la composition de la parole phonétique et compte tenu de la compréhension

de la parole ; il faut, en outre, établir un rapport entre le rendement de l'ouïe et le rendement de la voix. Il n'est absolument pas indifférent de savoir selon quel angle l'onde sonore atteint l'oreille, la sensation auditive de l'homme — à rendement égal de la voix à la suite de phénomènes de réflexion et d'interférences sonores — diffère d'un cas à l'autre. Jusqu'à présent, ce problème n'a été traité que d'un point de vue purement physiologique. par exemple, par la mesure des différences entre les vitesses de propagation. On n'a attaché, dans le passé, qu'une importance restreinte à en effectuer l'étude sous l'angle de la compréhension au sein de l'entreprise, ainsi que de la phonation qui y est nécessaire pour transmettre des informations. C'est pourquoi Margaria et Cavagna ont poursuivi des recherches fondamentales orientées vers ces objectifs. Ils ont examiné les principes généraux du mécanisme de la phonation, afin de créer les bases de l'emploi de codes utiles non seulement quant à la compréhension mais aussi quant à la transmission d'informations d'un travailleur à l'autre.

Margaria a constaté que pour des intensités phonétiques situées en-dessous du niveau critique, la régulation de l'intensité n'est pas seulement le fait des muscles respiratoires, mais qu'il s'y ajoute, d'autre part, un mécanisme, qui, moyennant une fine régulation de l'ouverture de la glotte, provoque des courants d'air d'une certaine intensité, sans que l'intensité phonétique en soit augmentée. Lors de la phonation, l'accroissement de l'intensité et de la hauteur des sons doit s'accompagner d'une énergie phonétique d'autant plus grande, dégagée par les muscles auxiliaires, les muscles respiratoires pectoraux et la régulation de la glotte.

Parmi les effets du bruit, la surdité professionnelle consécutive au bruit est le plus connu et celui qui apparaît comme le plus important. Ce problème a fait l'objet de très nombreuses recherches et publications, à tel point que l'observateur non averti doit nécessairement penser que des recherches supplémentaires n'auraient qu'une importance secondaire. Il a été constaté, cependant, qu'il existe des relations déterminées entre l'altération, dans le temps, du seuil auditif, et la probabilité d'être affecté, à l'avenir, de surdité due au bruit. Il s'agit de résultats d'études américaines, entreprises par l'I.S.O. et destinées à créer un système d'appréciation permettant de prévoir le moment auquel une personne exposée au bruit sera probablement affectée de surdité. Les études entreprises par van den Eijk, ingénieur rattaché au T.N.O. ont eu pour objet de déterminer les relations existant entre TTS et la surdité consécutive au bruit. L'étude de van den Eijk (T.N.O.), publiée récemment, contient les images spectrales d'un grand nombre d'entreprises bruyantes, auxquelles sont comparés des audiogrammes enregistrés dans les mêmes entreprises. Le grand avantage de ces enregistrements réside dans le fait qu'ils n'englobent pas seulement les valeurs moyennes des cas d'hypoacousie constatés, mais qu'ils indiquent également le pourcentage des cas où la déficience auditive correspond à un maximum ou un minimum. On obtient ainsi des représentations audiométriques très différenciées et suscep-

tibles de mettre en évidence les relations entre la surdité due au bruit et le spectre sonore d'une entreprise. Selon les résultats obtenus jusqu'à présent, la valeur critique proposée par l'I.S.O., NR 85, correspond à la réalité. Cependant, d'autres études consacrées à ce problème seraient absolument nécessaires.

Un autre problème très important en matière de surdité consécutive au bruit est la question de savoir si la surdité professionnelle peut être favorisée par des affections générales ou locales. Des recherches très détaillées, poursuivies en clinique otologique, lui ont été consacrées par Ricci et Pestalozza ; ils ont examiné la question de savoir dans quelle mesure une affection déjà existante de l'oreille moyenne pourrait constituer une protection contre les effets d'une surdité naissante due au bruit, ou, au contraire, dans quelle mesure elle pourrait accélérer cette surdité, c'est-à-dire la favoriser.

Il n'est pas possible d'apporter une réponse précise à cette question, pour autant que l'on s'attend à un jugement de portée générale. Il s'est avéré, cependant, que certaines formes d'otite moyenne — par exemple l'otite chronique avec perforation et purulence, qui existait déjà avant le début de l'activité — constituent une faible protection pour l'oreille intérieure, alors que d'autres formes, notamment les otites aiguës, exsudantes, constituent plutôt, au contraire, un facteur d'accélération.

Le rôle des maladies infectieuses est également un problème qui revêt une importance particulière. Il est parfaitement possible que des germes pathogènes agissent directement ou indirectement sur l'oreille intérieure ; on se rappelle que les cures de streptomycine ont pour effet de diminuer l'ouïe. En outre, il n'est pas exclu que cette sorte d'agents pathogènes, sans comporter des effets directs sur la fonction auditive en tant que telle, amoindrissent considérablement les capacités défensives et régénératrices de l'appareil auditif. Une constatation analogue s'applique à d'autres formes d'affections de caractère général, par exemple celles concernant le foie ou le métabolisme ; les hypertonies idiopathiques peuvent également accentuer les effets de la surdité consécutive au bruit. Ces recherches ont une grande portée pratique si l'on considère que les ouvriers d'un certain âge connaissent plus fréquemment des maladies de caractère général que les jeunes ouvriers. A cet égard, les travaux de Ricci et de Pestalozza constituent des suggestions précieuses pour l'activité du médecin d'entreprise.

A plusieurs reprises déjà, des études expérimentales ont permis de constater que le rendement est influencé par les effets du bruit. Cependant, comme l'indique le rapport de synthèse publié par la C.E.C.A. (Jansen) en 1960, le rendement est également influencé par les effets d'une surdité due au bruit, naissante ou déjà existante. L'isolement progressif d'ouvriers affectés d'une surdité naissante due au bruit a pour effet de modifier les structures psychiques, ce qui n'est pas sans influencer le rendement lui-même.

D'autre part, on sait également que les travailleurs exposés au bruit, ou affectés de surdité consécutive au bruit, sont en mesure de se concentrer davantage, notamment en raison de la diminution de leur sensibilité aux troubles extérieurs. Cette question n'a pas encore fait l'objet de recherches systématiques, qui seraient pourtant de la plus haute importance.

Comme on le sait déjà depuis un certain nombre d'années, les effets du bruit ne se limitent pas seulement à la fonction auditive, mais affectent également d'autres fonctions physiologiques de l'organisme humain. Des publications antérieures ont déjà indiqué que ni le métabolisme, ni le régime minéral ou d'autres fonctions ne subissent les effets d'excitations acoustiques. Il est certain, par contre, qu'elles exercent une influence sur le système cardiovasculaire, comme il a déjà été précisé dans les rapports de la première série de recherches de la C.E.C.A. Dans le cas d'intensités sonores extrêmement élevées, telles qu'elles n'existent que rarement dans la pratique industrielle, par exemple dans le voisinage de statoréacteurs, il faut naturellement s'attendre aussi à d'autres effets, que l'on ne trouve pas dans des conditions normales. C'est ainsi que Bugard a pu constater des altérations hormonales ainsi que des changements intervenus dans la concentration des éosinophiles et dans certaines autres fonctions. Toutefois, les intensités sonores produites dans une entreprise normale — 90 à 120 db — n'ont pas pour effet des modifications aussi prononcées ; les études de Jansen ont plutôt montré que les bruits industriels, lorsqu'ils comportent une certaine forme de périodicité, se traduisent par un effet cumulatif dans la circulation sanguine périphérique.

Les études entreprises par von Eiff ont permis de constater que certaines valeurs de la circulation sanguine, telles que la pression systolique, augmentent d'abord sous les effets du bruit, pour revenir ensuite à la moyenne, alors que la pression sanguine diastolique accuse une augmentation caractéristique, qui se maintient par la suite. Cette observation semble prouver que les réactions des artérioles, c'est-à-dire dans les zones périphériques, ont une plus longue durée proportionnelle à celle de l'excitation sonore. Les recherches de Naugeri et de Jansen ont abouti au même résultat. Il en résulte qu'il faut distinguer, en présence d'un bruit donné, entre réactions dites primaires du système végétatif, et réactions dites secondaires ; les premières sont indépendantes du sentiment d'inconfort et se présentent régulièrement chaque fois que le sujet est exposé au bruit, même s'il y a été accoutumé pendant de longues années ; au contraire, les réactions secondaires du système végétatif ont un caractère passager. On pourrait les qualifier par une autre expression : réaction d'effroi. L'accoutumance est possible dans le cas des réactions secondaires du système végétatif, alors qu'elle n'a pas encore pu être observée dans le cas des réactions primaires.

Il n'existe guère encore de résultats relatifs aux effets des ultra-sons. Des études ont été entreprises à ce sujet par Canac du Centre national de la

recherche scientifique ; cependant, elles ont été de caractère plutôt technique et pourraient s'avérer importantes en matière de lutte contre les ultra-sons. La question de savoir dans quelle mesure des ultra-sons, dont la fréquence est proche de la fréquence d'audibilité, peuvent léser l'organisme humain n'a pas encore fait l'objet de recherches, abstraction faite d'études américaines, qui ont cependant porté sur des fréquences supérieures à 100.000 Hz. D'autre part, il n'existe pas non plus d'études sûres et systématiques quant aux conditions réelles existant dans la pratique, c'est-à-dire que l'on ne connaît pas d'une manière précise les ordres de grandeur qui correspondent aux ultra-sons produits par des machines et dont la fréquence est proche de la fréquence d'audibilité. Il serait de la plus haute importance d'effectuer des recherches dans cette direction.

On dispose également d'un nombre élevé de résultats de recherches psychophysiologiques et socio-psychologiques relatifs aux effets du bruit. Grignolo et Molfino se sont efforcés de connaître les effets du bruit sur certaines fonctions visuelles. Ils ont constaté un rétrécissement du champ optique chez les travailleurs exposés au bruit. Ils ont étudié ce problème sur le plan expérimental, afin d'examiner jusqu'à quel point il était possible de provoquer un rétrécissement du champ optique dans des conditions expérimentales. Il a été constaté alors que les tests de laboratoire ne donnent lieu à aucune modification caractéristique. On peut donc en conclure que des effets de cette nature ne résultent, chez l'homme, que d'une influence de longue durée. Ces résultats ne contredisent pas d'autres constatations, portant notamment sur l'agrandissement de la pupille, une modification de l'acuité visuelle, de l'accommodation et de la convergence optique. A ce sujet, des études ont également été entreprises dans le cadre des groupes de recherche encouragés par la C.E.C.A., par exemple par Maugeri, Jansen, Grignolo et Molfino. Le problème des bruits industriels et de leurs effets sur l'attention, fait également partie du domaine psycho-physiologique. Il est parfaitement concevable que l'amoindrissement des fonctions visuelles conduise à une modification de l'attitude psychique, de sorte que le sentiment d'un effort, d'une « charge » accrue, peut s'accompagner de variations du degré d'attention et finalement du degré de volonté. Le problème n'a pas encore fait l'objet de recherches systématiques. Cependant, les travaux réalisés jusqu'à ce jour dans le domaine psycho-physiologique constituent des éléments utiles permettant de poursuivre, dans ce domaine également, des objectifs utilisables dans la pratique. Un autre problème important, qui touche en partie aux domaines de recherches socio-psychologiques, a déjà été étudié par von Muilder et van den Eijk. Il s'agit du problème de l'effet de perturbation et de celui du changement d'emploi à la suite des effets du bruit. On sait qu'il existe, entre les ouvriers, un besoin de communication de nature privée. Le bruit a pour effet d'interrompre cette communication privée, à tel point que des tensions et de l'insatisfaction peuvent en résulter. Van den Eijk en a fourni la preuve, en provoquant, lors de discussion en groupe, des effets de perturbation à l'aide de certains bruits. On ne dispose pas encore d'études quant à la question de



savoir dans quelle mesure il serait possible d'améliorer cette situation, grâce à l'organisation du travail, en transplantant les emplois ou en modifiant les voies d'acheminement du matériel, etc., lorsqu'on se trouve en présence de certaines données audiométriques, mais également de certaines formes d'affections cliniques ou d'autres affections physiologiques.

Un autre domaine, dont l'importance s'est encore accrue dans le cadre des recherches stimulées par la C.E.C.A., est constitué par les effets psychopathologiques des commotions sur l'homme. Du point de vue méthodologique, il existe plusieurs possibilités d'aborder ce problème. L'étude à l'électro-encéphalogramme des effets dus aux commotions semble être riche de promesses. A cet égard, il faut mentionner, en particulier, les études poursuivies par Sacerdote, qui a constaté des phénomènes de synchronisation sous l'effet de certaines fréquences. Celles-ci ont pour effet des modifications caractéristiques déterminées de l'activité électrique cérébrale.

En plus de ces études à l'électro-encéphalogramme, on a entrepris l'étude radiologique et clinique de personnes exposées aux vibrations. C'est ainsi que Molfino et Zanini, notamment, ont présenté une série de résultats émanant de la pratique, qui mettent en relief les rapports corrélatifs existant entre un degré donné d'exposition aux vibrations, d'une part, et certaines formes d'affections, de l'autre. Ces travaux ne constituent, cependant, que des études préliminaires, destinées à mettre au point une méthode adéquate en vue d'exploiter un matériel plus important. Zanini se livre à des expériences de laboratoire, en vue de dégager, tout d'abord, un rapport corrélatif entre l'expérience pratique et les recherches au laboratoire. Il a été constaté, en effet, qu'il n'existe presque pas, dans la pratique, des vibrations de forme sinusoïdale, alors que cette forme de vibrations est la seule qu'il soit possible de produire au laboratoire. Il serait donc nécessaire de créer, à ce sujet, des conditions d'expérimentation plus proches de la pratique, objectif que poursuit Coermann. Un autre problème est celui des facteurs constitutionnels qui interviennent dans la naissance d'affections causées par les vibrations. Ce problème n'englobe pas seulement divers aspects de la constitution physique de l'homme, mais également sa structure psychique. Cela est particulièrement visible en ce qui concerne les effets sur le rendement dus aux vibrations. Dans une large mesure, la courbe du rendement correspond à la courbe de résonance ; en influençant le psychisme, il a été possible de modifier, dans le sens d'une compensation, la courbe du rendement par des effets dus à la volonté.

Les vibrations les moins bien supportées se situent entre 4 et 10 Hz dans les tests avec vibrations sinusoïdales. Dans la pratique, cependant, on ne rencontre que des chocs vibratoires. Il est possible de prouver expérimentalement que la courbe de tolérance du choc peut être déduite de la courbe de tolérance des vibrations.

Si nombreuses et si précieuses que soient les recherches entreprises en matière d'exposition aux vibrations, en particulier pour la protection contre les accidents, l'analyse critique des éléments d'appréciation proposés jusqu'à ce jour n'en montre pas moins que des recherches encore plus poussées s'avèrent des plus nécessaires dans ce domaine.

## BIBLIOGRAPHIE

**Beranek, L. L.**

The design of speech communication systems  
Proc. Inst. Rad. Eng., N.Y. 35, 880 (1947)

**Bonjer, F. H.**

Aanbevelingen voor audiometrisch onderzoek in de industrie  
Commissie voor Arbeidsgeneeskundig Onderzoek der Gezondheids-  
organisatie T.N.O. (1962)

**Broadbent, D. E.**

Lärm und Wohlbefinden (anglais)  
Proc. roy. Soc. Med. 5/4, 225 (1957)

**Bugard, P.**

Protokoll Luxemburg, Dok. 3965/64 d (Annexe)  
Auswirkung von intensivem Lärm auf das endokrine System und das  
Nervensystem  
Presse méd., 63, 24 (1955)

**Calvet, J., Biraque, C., Brue, A., Fornié, R.**

Les ultra-sons de basse fréquence dans l'industrie: Production, trans-  
mission, effets physiopathologiques  
J. de Radiol. et d'Electrologie, 34, n° 7-8, 588 (1953)

**Cannon, W. B.**

Bodily changes in fear, hunger, pain and rage  
Appleton, New York (1929)

**Coermann, R. R.**

dans Stanley Lippert : Human Vibration Research  
Pergamon Press. (1963)

**Coppée, G.**

Der Lärm als Nachrichten- und subjektive Störungsquelle

Doc. 8195/58 de la Haute Autorité de la C.E.C.A., Luxembourg

**Corbeille, G., Baldes, E. J.**

Cardiac responses to acoustics stimulation in intact and decerebrated rabbits

Amer. J. Physiol., 88, 491 (1929)

**Cremer, L., Lübcke, E.**

in G. Jansen. Einwirkung des Lärms auf den Menschen

Hdb. d. Arbeitsmed. Urban und Schwarzenberg, 1, (1961)

**Doepfner, W., Cerletti, A.**

Der Einfluß von audiogenem Streß auf den exsudativen Entzündungsvorgang bei der Ratte

Helv. Physiol. Acta, 14 C14-C16 (1956)

**von Eiff, A. W.**

Grundumsatz und Psyche

Berlin, Göttingen, Heidelberg (1957)

**van den Eijk, J.**

Sitzungsprotokoll „Lärm“

Doc. 3965/64 d de la Haute Autorité de la C.E.C.A., Luxembourg

**Eldredge, D. H., Parrack, H. O.**

Biological effects of intense sound

J. Acoust. Soc. Amer. 21, 55 (1949)

**Fletcher, H.**

Speech and hearing communication

D. van Nostrand Comp. Inc., Princeton, N. J. (1953)

**Fortier, C., Selye, H.**

Adrenocorticotrophic effect of stress after severance of hypothalamo-hypophyseal path ways

Amer. J. Physiol. 159, 433 (1949)

**Gavini, H.**

Influence de la structure temporelle du stimulus sur la perception de la stimulation acoustique intermittente

Extrait de la revue *Psychologie française*, tome VIII, 3, octobre 1963

**Goldman, D. E., Hueter, T. F.**

Tabular Data of the Velocity and Absorption of High-Frequency Sound in Mammalian Tissues

J. Acoust. Soc. Amer. 28, 35-37 (1956)

**Grandjean, E.**

Die Wirkungen des Lärms auf vegetative und endokrine Funktionen

Z. Präv.-Med., 4, 3-20 (1959)

**Grignolo, A., Molfino, F.**

Forschungen über den Einfluß von Schallreizen — insbesondere des Lärms in den Stahlwerken — auf das Sehvermögen

Forschungsbericht 254 de la Haute Autorité de la C.E.C.A., Luxembourg (1963)

**Harmon, F. L.**

The effects of noise upon certain psychological and physiological processes

Arch. Psychol. (N. Y.), 147 (1933)

**Heinecker, R.**

Individuelle Unterschiede in der Reaktion von Kreislauf und Gasstoffwechsel auf dosierte Belastungen

Arch. Kreisl.-Forsch., 30, 1 (1959)

**Jansen, G.**

Beeinflussung der Konvergenstrias durch Geräusche

Experta Medica XXII, Intern. Physiol.-Kongr., Leiden, 10, 17 septembre 1962

Zur Entstehung vegetativer Funktionsstörungen durch Lärmeinwirkung

Arch. Gewerbepath. Gewerbehyg., 17, 238 (1959)

Einwirkungen des Lärms auf den Menschen

Hdb. Arbeitsmed., 1, 680-701 (1961)

Lärmeinwirkung bei körperlicher Arbeit

Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol., 20, 233-239 (1964)

**Jansen, G., Hoffmann, H.**

Lärmbedingte Änderungen der Feinmotorik und Lästigkeitsempfindungen in Abhängigkeit von bestimmten Persönlichkeitsdimensionen  
Z. exp. und angew. Psychol., XII, 4, 594-613 (1965)

**Jansen, G., Klensch, H.**

Beeinflussung des Ballistogramms durch Schallreize und Musik  
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol., 20, 258-270 (1964)

**Jansen, G., Rey, P. Y.**

Die Bedeutung der Bandbreite eines Geräusches von 95 DIN-phon auf die periphere Hautdurchblutung des Menschen  
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol., 19, 209-217 (1962)

**Kennedy, F.**

Fatigue and Noise in Industry  
N. Y., St. J. Med. 36, (1927)

**Koopmans, L. J.**

Industrial noise deafness, its influence on speech hearing  
Van Denderen, Groningen (Pays-Bas), juin 1962

**Krause, H.**

Das schwingungsmechanische Verhalten der Wirbelsäule  
Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol., 20, 125-155 (1963)

**Kryter, K. D.**

The effects of noise on man  
J. Speech and Hearing, Dis., septembre 1950, Monograph Sppl. 1

**Laird, D. A., Smiths, E. L.**

The loudness of auditory stimulus which affects stomach contractions in healthy human beings  
J. Acoust. Soc. Amer. 2, 94 (1930-1931)

**Lange, W., Coermann, R.**

Relativbewegungen benachbarter Wirbel unter Schwingungsbelastung  
Int. Z. angew. Physiologie einschl. Arbeitsphysiol., 21, 326-334 (1965)

**Lehmann, G.**

Untersuchungen zur Frage der nervösen Lärmbelastung

Arbeitsgemeinschaft für Forschung des Landes NRW, Karl-Arnold-Festschrift, 1955

**Lehmann, G., Tamm, J.**

Über die Veränderungen der Kreislaufdynamik des ruhenden Menschen unter Einwirkung von Geräuschen

Int. Z. angew. Physiol., 16, 217 (1956)

**Licklider, J. C. R.**

Auditory frequency analysis

Third London Symposium on Information Theory ; The Royal Institution. London, (1955)

**Lindsley, D. B.**

Handbook of Experimental Psychology, 473 (1951)

**Margaria, R., Cavagna, G. A.**

An analysis of the mechanics of phonation

Communauté européenne du charbon et de l'acier, 1959

**Martin, R.**

Mündliche Mitteilung an die Verfasser, 1964

**Maugeri, S.**

Effetti biologici del rumore industriale

Forschungsbericht 350 de la Haute Autorité de la C.E.C.A., Luxembourg

Patologia da rumore

Il progresso medico, vol. XVII, 13, 423-429

**Meyer-Delius, J.**

Wirkung des Schalls auf den Menschen

Automobiltechn. Z., 59, 293 (1957)

**Meyer-Eppler, W.**

Grundlagen und Anwendungen der Informationstheorie

Springer-Verlag, 1, (1959)



**Miline, R.**

Medecinski Bregled, Novi Gad (Yougoslavie), octobre 1948, n° 2,  
février 1943, n° 3

**Molfino, F., Zanini, D.**

Experimentelle Untersuchung der physiopathologischen Wirkungen  
der Vibrationen, die im Berufsmilieu usw. vorkommen, mit geeigneten  
Apparaturen

Forschungsbericht 262 de la Haute Autorité de la C.E.C.A.,  
Luxembourg, 1963

**Moser, H. M., Dreher, J. J.**

Research on the language of noise procedure : comparison of United  
States — United Kingdom and International Civil Aviation Organi-  
sation phonetic alphabets

Rep. 519/3, part 2, The Ohio State Res. Found., juin 1953

**Newman, E. B., Stevens, S. S.**

The electronic generation of airplane noise for use in testing and  
training

Psychol. Acoust. Lab. Harvard. Univ. OSRD Rept. 1445, 25. 5. 1943

**Oppliger, G., Grandjean, E.**

Vasomotorische Reaktionen der Hand auf Lärmreize

Helv. physiol. pharmacol. Acta, 17, 275 (1959)

**Pechot**

dans G. Coppée : Der Lärm als Nachrichten- und subjektive Störungs-  
quelle

Forschungsbericht, doc. 8195/58 de la Haute Autorité de la C.E.C.A.,  
Luxembourg

**Pollack, J.**

The information of elementary auditory displays

J. Acoust. Soc. Amer. 24, 745 (1952)

**Ricci, F. C., Pestalozza, G.**

Rapport de la C.E.C.A., doc. 4483/63 d,  
Haute Autorité, Luxembourg

**Rieckmann**

Mündliche Mitteilung an die Verfasser, 1964

**Rosenblith, W. A.**

Summary of conference on problems of noise in industry  
Arch. Industr. Hyg. 5, 160 (1952)

**Rosenblith, W. A., Stevens, K. K.**

Handbook of acoustic and noise control, vol. 2

**Rothlin, E., Bluntschli, H. J.**

Plethysmographische Untersuchungen  
I. Mitt. Helv. Physiol. Acta, 2, 149 (1944)

**Rothlin, E., Emmenegger, H., Cerletti, A.**

Versuche zur Erzeugung audiogener Hypertonie an Ratten  
Helv. Physiol. Acta, 11, C25-C28, (1953)

**Rudolf, W.**

Ultraschall als Vernichtungswaffe  
Medizinische Klinik, 28, 1007 (1953)

**Rushmer, R. F. et collaborateurs**

Continuous measurements of left-ventricular dimensions in intact  
unanaesthetized dogs  
Circulat. Res. 2, 14, (1954)

**Sacerdote, C. B.**

Statistical distribution of time intervals  
Acustica 6, 349 (1959)

**Schulz, G.**

Sitzungsprotokoll „Lärm“  
Doc. 6209/63 d, de la Haute Autorité de la C.E.C.A., Luxembourg

**Selye, H.**

Stress  
Acta endocrinologica 1951, Montréal

**Seyfarth, W.**

Ergebnisse der Untersuchungen von 120 Arbeitern in Großlärmbetrieben  
Arch. Gewerbepath., Gewerbehyg., 10, 238 (1940)

**Silink, K. U., Sedlacek, K.**

Der psychothermische Reflex

Cas. Lék. ces., 1701-1702, (1941), tchéch

**Slavin, J. J.**

Industriellärm und seine Bekämpfung

VEB-Verlag, Technik, Berlin (1960)

**Staab, F.**

Von Strahlenantrieben ausgesandte Schall- und Ultraschallwellen

Jahrb. der WGL, 265-275, (1955)

**Steinmann, B., Jaggi, U., Widmer, J.**

Über den Einfluß von Geräuschen und Lärm auf den Blutdruck des Menschen

Cardiologica (Bâle), 27, 223, (1955)

**Stevens, S. S.**

Effects of noise and vibration on psychomotor efficiency NRC

Harvard Psycho-Acoustic Laboratory, OSRP, 274 (1941)

**Uglow, W., Martischenja, A., Goldberg, A.**

Über die Wirkung von Lärm und Erschütterung auf den Gasaustausch

Arbeitsphysiol., 9, 387 (1937)

**Ward, W. D., Glorig, A., Nixon, J.**

Damage Risk Criteria and Noise-Induced Hearing Loss

Los Angeles, Arch. of Otolaryngology, vol. 74, 413-423, (1961)

**Wezler, K., Böger, A.**

Die Dynamik des arteriellen Systems

Ergebn. physiol., 41, 292, (1939)

**Zazo, S., Maggio, M.**

Untersuchungen der etwaigen Prädisposition für die Technopathie infolge von vibrierenden Geräten bei Kohlenbergarbeitern und Stahlarbeitern

Doc. 5885/63 d de la Haute Autorité de la C.E.C.A., Luxembourg



FF 10,- FB 100,- DM 8,- Lire 1.250,- Fl. 7,25

SERVICE DES PUBLICATIONS DES COMMUNAUTÉS EUROPÉENNES

4101/2/67/1